Literatuurstudie en formulering richtlijnen voor een ecologische inrichting van zonneparken in de provincies Groningen en Noord-Holland

eindrapportage

university of groningen

WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH

GRAUWE KIEKENDIEF KENNISCENTRUM AKKERVOGELS

Eindrapportage

Literatuurstudie en formulering richtlijnen voor een ecologische inrichting van zonneparken in de provincies Groningen en Noord-Holland

Raymond Klaassen[1,2], Tonio Schaub[2], Henk-Jan Ottens[2], Alex Schotman[3], Judit Snethlage[3] & Gerben Mol[3]

1. Rijksuniversiteit Groningen RUG, Groningen
2. Grauwe Kiekendief - Kenniscentrum Akkervogels KA, Scheemda
3. Wageningen Environmental Research WUR, Wageningen

Definitieve versie, 14 november 2018. Hoofdtekst opgesteld door Raymond Klaassen en Alex Schotman. Henk-Jan Ottens en Tonio Schaub leverden commentaar op eerdere versie. Rapportage is gebaseerd op literatuurstudies uitgevoerd door Tonio Schaub, Judit Snethlage en Alex Schotman. Het concept eindrapportage is bekeken en becommentariseerd door Alco van Klinken (Provincie Groningen), Matthijs van Oosterhout (Provincie Noord-Holland), Diederik van Dullemen (Provincie Groningen) en Rob Appels (Provincie Groningen).

In opdracht van de Provincie Groningen en Provincie Noord-Holland

Groningen, 19 november 2018

Inhoudsopgave

Samenvatting van conclusies **3**

Inleiding **4**

Box I. Boerenlandvogels: akker- en weidevogels **5**

Box II. Bodemkwaliteit **7**

Kaders, aanpak en methodieken **9**

Effecten van zonneparken op boerenlandvogels *9*

Effecten van zonneparken op bodem, insecten, vegetatie en bodembiodiversiteit *9*

Box III. Verschillende typen zonneparken **10**

Analyse en samenvatting *11*

Resultaten **12**

Algemeen *12*

Effecten van zonneparken op vogels *12*

Effecten van zonneparken op andere soortgroepen *14*

Effecten van zonneparken op de bodem en bodembiodiversiteit *15*

Maatregelen om biodiversiteit te bevorderen in zonneparken *17*

Aanbevelingen en checklist *17*

Tabel 1. Algemene aanbevelingen voor ecologische inrichting van zonneparken *18*

Box IV. Voorbeelden van ecologisch beheerde zonneparken in NL **25**

Box V. Scheiden of verweven van functies **26**

Discussie **27**

Effecten van zonneparken op de biodiversiteit, en maatregelen om biodiversiteit te bevorderen *27*

Maatwerk: verschillende maatregelen in verschillende landschappen *28*

Aanbevelingen voor monitoring *28*

Kennislacunes *29*

Aanbevelingen voor beleid ten aanzien van de ecologische inrichting van zonneparken *31*

Checklist **32**

Literatuurlijst **36**

Samenvatting van conclusies

De opwekking van duurzame – niet van fossiele brandstoffen afhankelijke – energie kent momenteel een sterke groei. De aanleg van zonneparken in landbouwgebieden zet extra druk op de toch al schaarse ruimte in het buitengebied. Daarnaast gaat de aanleg van zonneparken ten koste van het leefgebied van boerenlandvogels (akker- en weidevogels), soortsgroepen die toch al sterk onder druk staan. Bovendien zijn er zorgen over mogelijk bodembederf (bodemdegradatie en bodemerosie) als gevolg van zonneparken. Echter, door een ecologische inrichting en beheer van zonneparken zouden deze juist ook een groene plus op het leefgebied van akkervogels kunnen zetten, en zou de bodemkwaliteit juist ook verbeterd kunnen worden, met name in gebieden die momenteel lage natuurwaarden en door intensieve landbouw uitgeputte bodems kennen. Voor de provincies Groningen en Noord-Holland hebben we middels een literatuurstudie de kennis over effecten van zonneparken op biodiversiteit (met name boerenlandvogels) en bodemkwaliteit op een rij gezet. Aanbevelingen uit de literatuur voor meer ecologisch duurzame inrichting van zonneparken zijn vervat in een checklist.

Uit voorbeelden uit de literatuur blijkt dat het effect van zonneparken op boerenlandvogels en biodiversiteit in het algemeen soms negatief, soms neutraal, en soms positief is. In de regel is het effect positief als (a) het zonnepark wordt aangelegd in een gebied met van origine zeer lage natuurwaarden (bijvoorbeeld intensief landbouwgebied), als (b) het zonnepark een ecologische inrichting kent (bijvoorbeeld kruidenrijk grasland en relatief veel ruimte tussen rijen zonnepanelen), en als (c) het zonnepark extensief beheerd wordt (bijvoorbeeld extensief maaibeheer in plaats van begrazing door schapen). Een belangrijke constatering is dat met de aanleg van een zonnepark er veelal een verschuiving plaatsvindt in de samenstelling van de lokale vogelgemeenschap. Een toename van het aantal vogels hoeft dus niet te betekenen dat er een plus op het leefgebied van de doelsoorten (boerenlandvogels) is gezet.

Wanneer de bodem onder de panelentafels bijna volledig wordt afgeschermd van licht en regenwater (reductie van 75% of meer) zal de ondergroei afsterven en het bodemleven verstoken blijven van de aanvoer van verse organische stof. Als gevolg daarvan neemt de bodemvruchtbaarheid af, almede de hoeveelheid organische stof en de opnamecapaciteit voor water. In hoeverre dit doorwerkt op het bodemleven zal afhankelijk zijn van grondsoort en beheer. Andere risico's betreft bodemdegradatie bij de aanleg door verdichting erosie en verslemping bij de aanleg.

Hoewel er redelijk veel literatuur over zonneparken en biodiversiteit (boerenlandvogels) en bodem bestaat, is de wetenschappelijke onderbouwing veelal flinterdun. Er wordt bij aanbevelingen vaak uitgegaan van algemeenheden ("het is algemeen bekend dat ...") zonder dat effecten en maatregelen specifiek in de context van zonneparken getoetst zijn. Hier liggen belangrijke kennislacunes. Er bestaat een grote behoeftde aan goede effectmonitoring volgens het stigente *before-after control-impact* protocol, en gericht onderzoek te doen middels experimenten met inrichting en beheer.

De overheid zou een doelgericht stimuleringsbeleid moeten voeren voor een ecologisch duurzame inrichting van zonneparken mede ook om het maatschappelijk draagvlak voor zonneparken te vergroten. Een positieve bijdrage aan biodiversiteit en bodem (groene duurzame plus) en een bijdrage aan kennisontwikkeling omtrent ecologisch duurzame inrichting van zonneparken zouden als voorwaarden voor de vergunningverlening gesteld kunnen worden.

Inleiding

Een belangrijke uitdaging voor de komende decennia is de transitie naar duurzame – niet van fossiele brandstoffen afhankelijke – energiebronnen. Een substantiële bijdrage wordt hierbij verwacht van wind- en zonne-energie. De praktijk leert dat voor de realisatie van de opwekking van met name zonne-energie er, naast bebouwd en industrieel gebied, door ontwikkelaars en beleidsmakers vooral ook wordt gekeken naar het agrarisch gebied. Deze nieuwe functie zet extra druk op de toch al schaarse ruimte in het buitengebied en op de kwaliteit van het leefgebied voor soorten die in het buitengebied voorkomen. Daarnaast roept de aanleg van zonneparken soms maatschappelijke weerstand op.

De motivatie voor de transitie naar duurzame energie is een belangrijke milieuwinst door een reductie aan CO_2 uitstoot. Opwekking van duurzame energie kan echter ook een keerzijde hebben, omdat het negatieve effecten op natuur en milieu kan hebben. Zo kan de aanleg van een zonnepark in het buitengebied bijvoorbeeld ten koste gaan van het leefgebied van daar voorkomende boerenlandvogels (akker- en weidevogels - zie box I). Ook bestaan er zorgen over het verlies van ondergrondse biodiversiteit alsmede bodemdegradatie en bodemerosie (bodemkwaliteit zie box II) door de aanleg van zonneparken. Echter, met een juiste (ecologische) inrichting zouden zonneparken juist ook een plus op het leefgebied van boerenlandvogels kunnen zetten, en juist ook de bodemkwaliteit kunnen bevorderen. Het laten zien dat een zonnepark met een ecologische inrichting een positief effect op boerenlandvogels en biodiversiteit in het algemeen heeft, kan ook de acceptatie van de aanleg van zonneparken door omwonenden bevorderen.

Figuur 1. Van bedreiging voor het leefgebied tot groene plus.

De provincies Groningen en Noord-Holland onderkennen de mogelijke negatieve effecten van zonneparken op biodiversiteit en willen zorg dragen voor het realiseren en optimaliseren van ecologische randvoorwaarden ter bevordering van de boven- en ondergrondse biodiversiteit bij de aanleg van zonneparken. Grauwe Kiekendief - Kenniscentrum Akkervogels, Rijksuniversiteit Groningen en Wageningen Environmental Research is verzocht om bestaande kennis over effecten van zonneparken op de biodiversiteit, alsmede informatie over biodiversiteit bevorderende maatregelen, te verzamelen en te bundelen, en te vertalen naar richtlijnen die door de provincies kunnen worden gebruikt om aanvragen voor de aanleg van zonneparken te toetsen op ecologische inrichting. Het uiteindelijke doel is om met een juiste ecologisch inrichting van zonneparken het leefgebied voor boerenlandvogels te verbeteren, waarmee economische exploitatie (opwekken

energie) en ecologische waarden (leefgebied boerenlandvogels) beter in balans komen. Behalve het verzamelen en samenvatten van reeds bestaande kennis achten provincie Groningen en Noord-Holland het van belang dat aansluitend onderzoek zal worden gedaan naar de effectiviteit van biodiversiteit bevorderende maatregelen. Hiertoe worden in dat rapport de belangrijkste kennislacunes benoemd.

De resultaten van het literatuuronderzoek worden gepresenteerd door middel van een overzicht van de effecten van zonneparken op biodiversiteit, en welke maatregelen getroffen kunnen worden om de biodiversiteit in zonneparken te verbeteren. Hierbij is met name gekeken naar de effecten van zonneparken op akkervogels en bodemkwaliteit (bodembiodiversiteit). De verzamelde kennis wordt doorvertaald naar richtlijnen voor toetsing van aanvragen voor de aanleg van zonneparken op ecologische inrichting (checklist).

Box I. Boerenlandvogels: akker- en weidevogels

Landbouwgebieden zijn van oudsher rijk wat betreft biodiversiteit door een grote variatie in habitats en een hoge agrarische dynamiek van het milieu. Landbouwgebieden bieden door hun openheid en dynamiek een leefomgeving voor tal van specifieke soorten die zonder landbouw een marginaal bestaan in Nederland zouden hebben.

Bij boerenlandvogels maken we onderscheid tussen akker- en weidevogels. Akkervogels zijn soorten die voor (een deel van) hun levenswijze afhankelijk zijn van akkers, bijvoorbeeld omdat ze daar broeden, of omdat ze daar hun voedsel vergaren. Typische akkervogels zijn bijvoorbeeld de Veldleeuwerik, Gele Kwikstaart, Patrijs, Grauwe Kiekendief en Geelgors. Weidevogels zijn soorten die voor (een deel van) hun levenswijze afhankelijk zijn grasland (veelal veenweidegebieden). Typische weidevogels omvat de Grutto, Kievit en Tureluur. Het onderscheid tussen akker- en weidevogels is overigens niet glashard. Bijvoorbeeld de Veldleeuwerik was van oudsher ook een graslandvogel. Echter door het moderne zeer intensieve graslandbeheer vormt grasland voor Veldleeuweriken tegenwoordig een ecologische val, en is de Veldleeuwerik in veenweidegebieden dan ook vrijwel verdwenen. Verder is de Kievit ook een soort die zowel in graslandgebieden als op akkers voorkomt. De Kievit wordt daarom zowel onder de akker- als weidevogels geschaard.

Analyses van de trends van vogels laten zien dat met name vogels van het boerenland de laatste decennia sterk in aantallen achteruit zijn gegaan, vooral door de intensivering van de landbouw. Deze intensivering omvat de intensivering van het landgebruik (hoge mestgiften, veelvuldig gebruik van gewasbeschermingsmiddelen), specialisatie (steeds minder gewassen die verbouwd worden), en schaalvergroting (inclusief het verlies aan houtwallen, akkerranden en andere extensieve structuren). Boerenlandvogels kunnen niet voortbestaan in een landschap met de huidige intensiteit van landbouw. Extensivering van het landgebruik is noodzakelijk om boerenlandvogels te behouden. Er worden nationaal en regionaal maatregelen getroffen om boerenlandvogels te helpen, zoals vormgegeven in het Agrarisch Natuurbeheer als uitwerking van de Europese vergroening (bijvoorbeeld Bos *et al*. 2010).

Akkervogels

De Veldleeuwerik is een voorbeeld van een akkervogel die jaarrond op akkers verblijft. Hij broedt op de akkers en vind daar jaarrond zijn voedsel. Akkervogels omvatten ook soorten die alleen afhankelijk zijn van akkerbouwgebieden gedurende een bepaald deel van het jaar, zoals bijvoorbeeld vinkachtigen (Vink en Keep) uit noordelijk gelegen broedgebieden die in de winter op akkers naar

voedsel zoeken. Als het gaat over akkervogels in Groningen en Noord-Holland kunnen we twee groepen onderscheiden:

a. Akkervogels van het open land. Dit zijn soorten van open landschappen die op de grond hun nesten bouwen. Deze soorten worden vooral bedreigd door intensivering van het landgebruik en specialisatie, en zijn dan ook gebaat bij braaklegging en de teelt van extensieve gewassen zoals bijvoorbeeld Luzerne. Voorbeelden van soorten zijn Veldleeuwerik, Gele Kwikstaart, Kievit en Grauwe Kiekendief.

b. Akkervogels van ruigte en struweel binnen het open akkerland. Deze soorten zijn afhankelijk van akkerranden, veldstruweel en hagen en heggen, waarin ze hun nesten bouwen en waar ze naar voedsel zoeken. Deze soorten worden vooral bedreigd door schaalvergroting, en kunnen geholpen worden met de aanleg van extensief beheerde landschapselementen. Voorbeelden zijn Paapje, Geelgors, Grasmus en Patrijs.

Figuur 2. "Droombeeld" van een rijk akkervogelgebied (tekening door Elwin van der Kolk).

Bij akkervogels kunnen we verder onderscheid maken tussen soorten die alleen in de zomer in Nederland voorkomen (zomergasten, bijvoorbeeld Gele Kwikstaart), soorten die alleen gedurende de trektijd en winter voorkomen (wintergasten, bijvoorbeeld Keep), en soorten die jaarrond in akkerbouwgebieden te vinden zijn (bijvoorbeeld Patrijs, Geelgors). Bij soorten die jaarrond voorkomen kunnen verschillende populaties betrokken zijn. De meeste Geelgorzen die in Nederland broeden blijven jaarrond in Nederland en kunnen daarom als standvogels beschouwd worden. In de winter komen er echter ook grote aantallen Geelgorzen van elders, waarschijnlijk uit noordelijke en oostelijke broedgebieden, om in Nederland de winter door te brengen. Het moge duidelijk zijn dat akkerbouwgebieden jaarrond leefgebied voor akkervogels vormen. Het is dan ook belangrijk om bij de ecologische inrichting van zonneparken een jaarrond perspectief te hebben.

Weidevogels

Met name de nattere veenweidegebieden, waar akkerbouw vrijwel niet voorkomt, zijn belangrijke hotspots voor weidevogels. Akker- en weidevogelgebieden zijn hierdoor ruimtelijk gescheiden. De Provincie Groningen kent slechts een paar relatief kleine weidevogelgebieden. Noord-Holland is daarentegen juist één van de (of zelfs *de*) belangrijkste weidevogelprovincies van Nederland. De

meeste weidevogels zijn trekvogels die alleen in de zomer in Nederland voorkomen. Weidevogels nestelen in het grasland, en zoeken daar ook naar voedsel. Bij weidevogels kennen we niet het onderscheid tussen soorten van open gebieden en soorten van struwelen en andere opgaande vegetatie, omdat eigenlijk alle weidevogels soorten van zeer open gebieden zijn. De belangrijkste soorten zijn Grutto, Kievit, Scholekster en Tureluur. Regenwormen vormen een belangrijk onderdeel van het dieet van de volwassen vogels, terwijl hun kuikens voor een groot deel afhankelijk van insecten zijn. In de winter worden graslandgebieden bevolkt door Goudplevieren, een trekvogel afkomstig uit Scandinavië en Rusland. Deze Goudplevieren profiteren van de hoge dichtheden aan regenwormen in de natte veenweidegebieden. Graslandgebieden worden in de winter ook door grote groepen ganzen en eenden bezocht. Deze herbivoren worden echter niet onder de weidevogels maar onder de watervogels geschaard.

Box II. Bodemkwaliteit

De bodem is de bovenste laag van de aardkorst, maar de definitie in de bodemkunde is specifieker, namelijk die laag van de aardkorst die door planten beworteld wordt (de rhizosfeer), of waarin zich bodemvormende processen afspelen. De bodem vervult een groot aantal functies die kunnen worden beschreven als ecosysteemdiensten. Voorbeelden zijn: de bodemvruchtbaarheid voor landbouw, het bufferend en reinigend vermogen voor water, afbraak van organische stof en opslag van koolstof, archieffunctie voor fysisch geografisch, biologisch en cultureel erfgoed, etc. De vervulling van die diensten heeft vaak geen economische betekenis en komt nogal eens in het nauw door roofbouw op grondstoffen en ruimte. Een bodem die alle beoogde functies goed vervult noemen we een gezonde bodem.

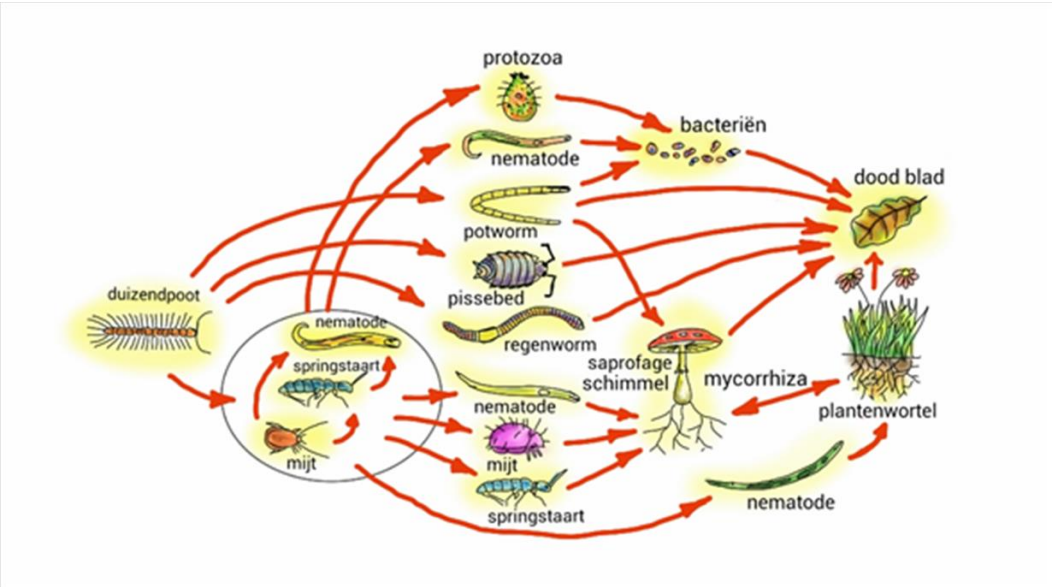
Een vruchtbare bodem is rijk aan organische stof, houdt water goed vast en bevat veel voedingsstoffen voor planten. Hoe vruchtbaarder de grond, hoe beter we gewassen kunnen produceren als voedsel voor mensen en dieren. Bodemvruchtbaarheid omvat alle chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen die nodig zijn voor de groei van planten. In de landbouw draait het erom dat planten zo efficiënt mogelijk hun voedingsstoffen kunnen vinden en opnemen. Tegelijkertijd mogen zo weinig mogelijk voedingsstoffen verloren gaan naar lucht, water of diepere bodemlagen, waar ze onbereikbaar worden voor de plantenwortels.

Een gezonde bodem voor de landbouw is niet per definitie het beste voor behoud van de biodiversiteit aan wilde planten en de insekten en vogels die daarvan profiteren. Doordat men er in de moderne landbouw steeds beter in slaagt door bewerking, bemesting en chemische bestrijding van ongewenste organismen de toestand te optimaliseren voor de gewassen, blijft er weinig ruimte over voor natuurwaarden. Enkele decennia geleden was er veel meer ruimte voor wilde planten, insekten, zoogdieren en vogels. Het natuurbeleid en –beheer in Nederland streeft ernaar zoveel mogelijk van die soorten verbonden aan het oude biodivers rijke cultuurlandschap te behouden. Een minder intensief bewerkte bodem (minder intensieve landbouw), of een bodem die een tijd met rust wordt gelaten (braaklegging – geen landbouw), zal gezonder worden en meer waarde voor de natuur hebben.

Fysische bodemvruchtbaarheid omvat de structuureigenschappen van de bodem. Deze moet een structuur bieden waarin plantenwortels vocht en voedingsstoffen kunnen opnemen. Ook moet de grond blijven liggen waar die ligt. Dus niet bij de eerste de beste regenbui wegspoelen, of met de wind wegwaaien (erosie). De eigenschappen van een bodem zijn onder andere afhankelijk van de textuur, oftewel de korrelgrootteverdeling van een bodem. Kleigronden bevatten relatief veel

deeltjes die kleiner zijn dan twee micrometer. Zandgronden bevatten vooral deeltjes groter dan 64 micrometer. Veengronden bestaan volledig uit organische stof. Als ze niet te nat zijn bieden ze meestal een goede basis voor een goede fysische bodemvruchtbaarheid. Ontwatering bevordert echter veenafbraak door oxidatie van de organische stof. Voor alle bodems geldt dat de textuur, samen met het gehalte aan organische stof, belangrijk is voor het vochthoudend vermogen, maar ook voor de kans op verdichting, erosie en verslemping. Bij verslemping is er te weinig binding tussen bodemdeeltjes. Door de inslag van regendruppels treedt schifting op. Daarbij verstoppen de fijnere lutum- en siltdeeltjes de poriën in de bodem. Zo ontstaat een papperige slemplaag die na drogen een slempkorst vormt. Vooral lichte kleigronden en lössgronden zijn gevoelig voor slemp.

De biologische bodemvruchtbaarheid heeft betrekking op de rol van de levende organismen (figuur 3). In de bodem leven microflora zoals bacteriën en schimmels, en fauna zoals wormen, mijten, springstaarten, aaltjes en protozoën. Al deze organismen zijn op de een of andere manier betrokken in de nutriëntenkringloop in de bodem. Het is eten en gegeten worden. Ze voeden zich met plantenresten, met meststoffen, maar ook met elkaar. Een deel van het verwerkte voedsel komt weer beschikbaar als voedingsstoffen voor de plant. Een ander deel wordt vastgelegd in het weefsel van de organismen zelf, of in andere vormen van organische stof.



Figuur 3. Bodemvoedselweb (Ron de Goede, WUR).

Organische stof vervult een sleutelrol in de bodem. De meeste organische stof op of in de bodem is primair afkomstig van plantengroei. En de plantengroei is behalve van de bodemvruchtbaarheid en water afhankelijk van licht. De mate waarin zonnepanelen door hun schaduwwerking de plantengroei belemmeren bepaalt dus de productie van organische stof en daardoor de omvang en samenstelling van het bodemvoedselweb.

Licht en water hebben een grote invloed op de bodemkwaliteit. Een volledigd beschaduwde bodem die geen licht krijgt, en die ook niet bewaterd wordt door regenwater, zal ‘afsterven’. Daarnaast zijn voldoende licht en water belangrijk voor de plantengroei. Op plaatsen waar weinig licht en regenwater valt ontwikkelt de vegetatie zich slechter.

Kaders, aanpak en methodieken

De literatuurstudie omvat twee onderdelen, een studie naar effecten van zonneparken op boerenlandvogels (weide- en akkervogels, door Grauwe Kiekendief - Kenniscentrum Akkervogels) en een studie naar effecten van zonneparken op bodem en bodembiodiversiteit (door Wageningen Environmental Research).

Effecten van zonneparken op boerenlandvogels

Er is gezocht naar literatuur over a) effecten van zonneparken op vogels/biodiversiteit in het algemeen en b) mogelijkheden voor vogel/biodiversiteits-vriendelijke inrichting en beheer van zonneparken. Bij dit onderdeel van het literatuuronderzoek lag de focus op vogels. Andere soortgroepen (planten, dieren) zijn meegenomen, maar hier is de literatuurstudie niet als compleet te beschouwen.

Literatuur over op het water drijvende zonneparken is niet meegenomen, de zoektocht is beperkt tot zonneparken op het land. Verder is de literatuurstudie beperkt tot zonneparken met panelen bestaande uit fotovoltaïsche cellen, in plaats van "*concentrated solar power*" (zie box III).

Er is gezocht binnen *Web of Science* (de grootste database van Engelstalige wetenschappelijke literatuur) met combinaties van devolgende zoektermen: "*solar farm*", "*solar park*", "*solar energy*", "*photovoltaic*", "*biodiversity*" en "*bird**". Binnen het *Ornithologische Schriftenschau* (Duitstalige ornithologische literatuur) is gezocht op "*Solar*", "*Sonne*", "*Photovoltaik*". Daarnaast is er in GoogleScholar en Google met verschillende combinaties van bovengenoemde zoektermen gezocht.

De volgende typen documenten zijn verzameld:

- onderzoeksliteratuur (wetenschappelijke peer-reviewed literatuur en "grijze" non peer-reviewed literatuur)
- reviews (wetenschappelijke en "grijze" literatuur)
- documenten met richtlijnen voor de inrichting van zonneparken
- natuurtoetsen voor geplande zonneparken (alleen aanvullend, niet in tabel opgenomen)
- *Biodiversity Management Plans* (*BMP*) voor geplande zonneparken (alleen aanvullend, niet in tabel)
- handreikingen alle provincies van Nederland (voor zover beschikbaar - alleen aanvullend, niet in tabel)

Effecten van zonneparken op bodem, insecten, vegetatie en bodembiodiversiteit

De literatuurstudie naar effecten van zonneparken op de bodem, insecten, vegetatie en bodembiodiversiteit is volgens een vergelijkbare aanpak uitgevoerd. Er is gezocht naar publicaties die het effect van beschaduwing door zonnepanelen op bodemleven en vegetatie beschrijven. In GoogleScholar zijn in verschillende combinaties de volgende zoektermen gebruikt: "*solar farm*", "*solar park*", "*solar energy*", "*photovoltaic*", "*microclimat*", "soil", "*shading*", "*agrivoltaic*", "*PV*", "*vegetation*", "*precipitation*". Door Jaap Bloem (WUR) zijn contacten in Duitsland bevraagd op het bestaan van onderzoek naar en publicaties over dit onderwerp. In de gevonden publicaties zijn de literatuurlijsten doorzocht op mogelijke bronnen. Zoals al eerder geconstateerd door Kok *et al*. (2018) zijn er vrijwel geen publicaties beschikbaar gewijd aan dit onderwerp. In bestaande handreikingen en richtlijnen is gezocht naar passages over de bodem.

Box III. Verschillende typen zonneparken

Er bestaan drie typen zonneparken. 1) Zonneparken met fotovoltaike panelen. Fotovoltaïsche panelen zetten zonnelicht direct om in elektrische stroom. 2) Zonneparken met concentrerende spiegels, een techniek die ook wel *concentrating solar power* (CSP) wordt genoemd. Hierbij concentreren spiegels het zonlicht om warmte te produceren. Elektriciteit wordt vervolgens met stoom opgewekt. 3) Een geheel ander type zonnepark betreft zonnethermieparken waarbij een vloeistof in panelen wordt opgewarmt. Zonnethermieparken worden verder in dit rapport niet apart behandeld omdat deze qua opzet en configuratie op gangbare fotovoltaike zonneparken lijken.

Figuur 4. Voorbeeld van een zonnepark met fotovoltaike panelen (links) en voorbeeld van een "concentrating solar power" zonnepark.

Ecologische effecten van de verschillende typen zonneparken zijn heel verschillend. Een specifiek effect van CSP parken betreft de verbranding van vogels die door de geconcentreerde zonnestralen vliegen. CSP werd echter tot nu vooral in Spanje en de VS toegepast, en is technisch gezien geen reëele optie voor landen met relatief weinig zonnestraling (zoals Nederland). De literatuurstudie is daarom dan ook tot parken met fotovoltaike panelen beperkt.

Figuur 5. Voorbeeld van een zonnepark met een oost-west opstelling van panelen. Delfzijl, Groningen.

Naast gangbare fotovoltaïsche zonneparken met naar het zuiden gerichte onder een lage hoek staande panelen dichtbij de grond zijn er een viertal andere configuraties mogelijk. (1) In opkomst zijn zogenaamde oost-west opstellingen waarbij panelen naar oost en west georienteerd zijn in plaats van naar het zuiden. Bij een oost-west opstelling kunnen de zonnetafels zeer dicht op elkaar

geplaatst worden, waardoor vrijwel de gehele oppervlakte door panelen afgedekt wordt (figuur 5). Een oost-west opstelling is hiermee weliswaar effieciënt wat betreft energieopwekking omdat vrijwel het gehele oppervlak benut wordt voor de opwekking van energie, maar effecten op biodiversiteit en bodem zijn mogelijk buitenproportioneel omdat de bodem vrijwel geheel beschaduwd wordt.

(2-3) De volgende twee mogelijke opstellingen van zonnepanelen zijn interessant omdat deze een combinatie van akkerbouw en zonne-energie mogelijk maken ("agro- fotovoltaïsch" of "agrivoltaic"). Eén concept betreft horizontale panelen hoog boven grond (> 5m) op een draagconstructie gemonteerd. Onder de panelen is er ruimte voor akkerbouw of veehouderij. Een tweede concept betreft verticale "bifaciale" panelen. Het voordeel van verticale panelen is het feit dat regenwater niet door panelen opgevangen wordt.

Figuur 6. Voorbeeld van een zonnepark hoog boven de grond waardoor landbouw onder de stellages mogelijk blijft (links). Voorbeeld van bifaciale panelen (rechts) die eveneens landbouw tussen rijen panelen mogelijk maakt (bron: https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik-Freifl%C3%A4chenanlage#Agrophotovoltaik,_Agrovoltaik).

(4) In het buitenland bestaan daarnaast opstellingen met met de zon meedraaiende panelen.

Analyse en samenvatting

Alle studies die relevant werden geacht zijn opgenomen in de hoofdtabel (bijlage 1). Hierin wordt een overzicht gegeven van verzamelde bronnen, inclusief een korte kenschets van het precieze onderwerp en de belangrijkste bevindingen. Voor iedere studie staan samengevat informatie over type en aanpak studie, eigenschappen zonneparken, vastgestelde vogelsoorten, samenvatting van uitkomsten, en inschatting waarde voor de literatuurstudie. Locatie-specifieke aanbevelingen uit natuurtoetsen of BMP's voor specifieke zonneparken zijn hierin niet meegenomen.

Deze resultaten zijn vervolgens samengevat in een tabel met aanbevelingen van uit de literatuur (tabel 1), die de basis voor de analyse en evaluatie vormen. In deze tabel wordt voor verschillende maatregelen op verschillende niveaus effecten en onderliggende bewijs daarvoor samengevat. Hierbij maken we onderscheid tussen zaken die we zeker weten, zaken die we denken zeker te weten, en zaken die we denken maar niet zeker weten. Tabel 1 geeft dan ook indirect inzicht in de belangrijkste kennislacunes.

Tenslotte is er een doorvertaling gemaakt naar een specifieke checklist voor een ecologische inrichting van zonneparken (tabel 2), waar maatregelen en aandachtspunten worden benoemd die een bewezen positief effect op biodiversiteit hebben, of waarvan naar alle redelijkheid verwacht

mag worden dat het een positief effect op biodiversiteit heeft. Aangegeven is ook welke onderdelen een betere wetenschappelijke onderbouwing behoeven.

Resultaten

Algemeen

Er is literatuur gevonden uit het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, Verenigde Staten, Zuid-Afrika, Nederland (weinig), Australië (alleen locatie-specifieke plannen; voor deze studie niet van toepassing) en Hongarije (met name studies over de problematiek van polarotactische insecten). Er werden voor Nederland geen studies gevonden waarin uitgebreid gemonitord is in een bestaand zonnepark, wat we als een belangrijke kennislacune zien. De literatuur uit Nederland omvat:

a) handreikingen van provincies (Provincie Fryslân 2017, Provincie Groningen 2018, Provincie Noord-Holland 2016, Provincie Overijssel 2017), gemeenten (bijvoorbeeld Gemeente Oldambt) en natuurorganisaties (GNMF 2018). Opgemerkt wordt dat het in deze handreikingen nauwelijks over natuur en biodiversiteit gaat. Een belangijk vaak terugkomen punt is wel dat natuurvriendelijke maatregelen ook als positief wat betreft landschaps-esthetica beschouwd worden (dubbele functie)
b) natuurtoetsen in planfase (bijvoorbeeld Engels & Kleyheeg-Hartman 2016)
c) plannen voor ecologische inrichting van zonneparken (bijvoorbeeld Midden-Groningen – Eelerwoude 2018, Stadskanaal – BügelHajema 2018)
d) voorbeelden van zonneparken die specifiek natuurvriendelijk ingericht zijn en beheerd worden (bijvoorbeeld “De Kwekerij” in Gelderland en “Ubbena” in Drenthe). Echter, voor deze zonneparken waren geen onderzoeksrapporten beschikbaar.

Effecten van zonneparken op vogels

Zonneparken worden wel degelijk door vogels gebruikt (bijvoorbeeld Herden *et al*. 2009, Visser 2016, Raab 2015, Montag *et al*. 2016, Sinha *et al*. 2018). Ook in de technische literatuur worden broedvogels in zonneparken benoemd, opvallend genoeg veelal als probleem (vogelpoep, bijvoorbeeld Lamont & El Chaar 2011).

In studies waarin het voorkomen van vogels werd vergeleken tussen zonneparken en de situatie voor de bouw van het park of tussen zonneparken en de omgeving (referentiegebied), werden soms negatieve effecten gevonden (aantal vogelsoorten: DeVault *et al*. 2014, Montag *et al*. 2016, Tröltzsch & Neuling 2013; aantal individuen/territoria: Heindl 2016, Tröltzsch & Neuling 2013), soms werd er geen effect gevonden (neutraal; aantal vogelsoorten en -individuen: Visser 2016), en soms werd er juist een positief effect gevonden (aantal vogelsoorten: Montag *et al*. 2016, Lieder & Lumpe 2012). De richting van het effect van de aanleg van een zonnepark lijkt door drie factoren te worden beïnvloed:

a) de aard van het gebied voor de constructie van het zonnepark. Effecten van de aanleg van zonneparken kunnen positief zijn als deze worden gebouwd op intensieve landbouwgrond (aangetoond in Montag *et al.* 2016; aanwijzingen verder in Raab 2015, Herden *et al*. 2009, Lieder & Lumpe 2012). Effecten van zonneparken zijn veelal negatief als deze worden aangelegd in meer natuurlijke habitats en natuurgebieden (bijvoorbeeld Tröltzsch & Neuling 2013, Heindl 2016).

b) de configuratie van de panelen. Zonneparken zijn aantrekkelijker voor vogels als er meer ruimte tussen de panelen bestaat. Bijvoorbeeld, Tröltzsch & Neuling (2013) vonden meer nesten in zonneparken met meer ruimte tussen panelen.

c) het beheer van het zonnepark (aangetoond in Raab 2015, aanwijzingen in Montag *et al*. 2016, Herden *et al*. 2009). Positieve effecten werden gevonden in het geval van een extensief beheer van het zonnepark, zoals de aanleg van kruidenrijk grasland. Begrazing lijkt zelfs in lage dichtheden al negatieve effecten op biodiversiteit te hebben.

In het algemeen is door de aanleg van een zonnepark een verschuiving in de samenstelling van de soorten die het gebied gebruiken te verwachten, omdat verschillende soortgroepen vermoedelijk verschillend op de aanleg van een zonnepark reageren. Dit wordt aangetoond door Visser (2016).

Voor bepaalde akkervogels blijken zonneparken potentieel broedhabitat te vormen. Akkervogels die als broedvogels in zonneparken werden aangetroffen zijn Veldleeuwerik (Tröltzsch & Neuling 2013, Lieder & Lumpe 2012, Herden *et al.* 2009, Raab 2015), Graspieper (Lieder & Lumpe 2012), Gele Kwikstaart (Raab 2015), Kneu (Tröltzsch & Neuling 2013, Lieder & Lumpe 2012, Raab 2015), Ringmus (Raab 2015), Geelgors (Tröltzsch & Neuling 2013, Lieder & Lumpe 2012, Herden *et al*. 2009, Raab 2015), Grauwe Klauwier (Heindl 2014, Raab 2015), Paapje (Tröltzsch & Neuling 2013, Heindl 2016, Raab 2015) en Patrijs (Herden *et al*. 2009, Raab 2015). Een akkervogel die zonneparken lijkt te mijden is de Grauwe Gors (Heindl 2016, Lieder & Lumpe 2012).

Roofvogels zoals Buizerd, Rode Wouw en Torenvalk werden niet als broedvogels in zonneparken aangetroffen maar maakten wel regelmatig gebruik van zonneparken om te foerageren (bijvoorbeeld Raab 2015, Visser 2016, Montag *et al*. 2016). Er zijn verschillende aanwijzingen dat grotere vogels, met name soorten die in groepen leven (bijvoorbeeld ganzen) zonneparken weinig gebruiken (DeVault *et al*. 2014). Vermijden van zonneparken door grote vogels en weidevogels wordt ook door Herden *et al*. (2009) en Lieder & Lumpe (2012) vermoed. Het is opmerkelijk dat nergens de aanwezigheid van weidevogels in zonneparken is aangetoond. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de onderzochte zonneparken niet in typische weidevogelgebieden lagen (Herden *et al*. 2009).

Zonnepanelen bieden ook nieuwe nestlocaties (bijvoorbeeld Hernandez *et al*. 2014, Visser 2016, Lamont & El Chaar 2011, Tröltzsch & Neuling 2013, Heindl 2014, Herden *et al*. 2009). Wat Europese vogels betreft is nestelen op de panelenconstructie zelf vastgesteld voor Kneu, Witte Kwikstaart, Zwarte Roodstaart, Grauwe Klauwier en Kramsvogel (Tröltzsch & Neuling 2013, Heindl 2014, Herden *et al*. 2009).

Een ander belangrijk aspect van zonneparken betreft het hekwerk waarmee zonneparken vanwege veiligheid omgeven worden. Aan de ene kant wordt dit hekwerk als een negatieve factor voor met name zoogdieren, amfibieën en reptielen gezien omdat het hekwerk een barrière vormt en daarmee per definitie een stuk leefgebied voor deze soortgroepen verloren gaat (bijvoorbeeld BirdLife Europe 2011, Herden *et al*. 2009). Er worden maatregelen voorgesteld om het hekwerk doordringbaar voor (kleine) zoogdieren, etc. te maken. Verder wordt in sommige bronnen een aanvaringsrisico voor grote zware vogels vermoed (trappen, zwanen en ganzen, BirdLife Europe 2011). Aan de andere kant wordt het hekwerk als iets positiefs beschouwd omdat het vogels die binnen het zonnepark broeden beschermd tegen grondpredatoren (alleen BRE 2014). Hierbij moet worden opgemerkt dat regulier gebruikte hekken in de praktijk geen volledige bescherming tegen grondpredatoren bieden, omdat deze zich onder het hek heen kunnen graven en er over de tijd onbedoelde gaten ontstaan (Herden *et al*. 2009). Er bestaan voorbeelden van grondpredator-veilige hekken, zoals bij het beschermingsproject voor de Grote Trap in Brandenburg, Duitsland (Langgemach & Bellebaum 2005) gebruikt worden, die in principe ook bij zonneparken toegepast zouden kunnen worden.

Een mogelijk negatief effect van zonneparken betreft directe mortaliteit door zonnepanelen. Dit blijkt echter in slechts een aantal specifieke gevallen voor te komen, en niet relevant voor de situatie in Nederland/Europa te zijn. Het is bijvoorbeeld bekend dat vogels kunnen verbranden als ze door de geconcentreerde zonnestralen in CSP zonneparken (zie box III) vliegen, of tegen de heliostats (spiegels) aanbotsen die het zonlicht concentreren (McCrary *et al*. 1986; Kagan *et al.* 2014; Walston *et al.* 2016). Mortaliteit van vogels is verder bekend van (normale) fotovoltaike zonneparken in de woestijn. Dit betreft watervogels die zonnepanelen met wateroppervlakte verwisselen ("*lake effect*", Kagan *et al.* 2014; Walston *et al.* 2016). Deze vogels sterven niet direct maar stranden al dan niet gewond binnen het zonnepark en worden daar gepredeerd (Kagan *et al*. 2014). Bij gedetailleerde studies in Duitsland en in het Verenigd Konininkrijk werden geen slachtoffers in fotovoltaike zonneparken gevonden (Feltwell 2013, Lieder & Lumpe 2012, Herden *et al*. 2009). Herden *et al*. 2009 observeerden ook geen landingspogingen van watervogels die over zonneparken vlogen. Ook DeVault *et al*. 2014 (Verenigde Staten) trof geen aanvaringsslachtoffers aan ondanks een grote steekproef. Visser 2016 (Zuid-Afrika) rapporteerde wél kadavers, maar de precieze doodsoorzaak en daarmee de relatie met het zonnepark was onduidelijk.

Effecten van zonneparken op andere soortgroepen

Hier wordt allereerst een korte opsomming gegeven van welke studies informatie over effecten van zonneparken op andere soortgroepen dan vogels geven:

Sprinkhanen:	Herden *et al.* 2009, Raab 2015
Vlinders:	Raab 2015, Guiller *et al.* 2017, Montag *et al.* 2016
Hommels:	Montag *et al.* 2016
Insecten algemeen:	Herden *et al.* 2009
Waterinsecten:	Horváth *et al*. 2009, 2010, Herden *et al*. 2009
Planten:	Raab 2015, Herden *et al.* 2009, Montag *et al.* 2016
Vleermuizen:	Montag *et al.* 2016, Harrison 2017 (review), Taylor 2014 (review)
Grondgebonden zoogdieren:	Herden *et al.* 2009

Studies naar effecten van zonneparken op deze soortsgroepen richten zich vooral op het voorkomen van soorten. Er is vrijwel geen onderzoek gedaan naar de ecologie van de soorten. Net zoals bij vogels blijkt het effect van zonneparken op het voorkomen van deze soortsgroepen samen te hangen met wat de uitgangssituatie was (positief effect van aanleg van zonnepark met ecologische inrichting op plek met daarvoor lage natuurwaarden), configuratie van zonneparken (positief effect bij meer ruimte tussen panelen), en beheer van het zonnepark (positief effect bij een extensief beheer).

Verrassend genoeg blijken effecten van zonnepanelen op waterinsecten goed onderzocht. Zonnepanelen reflecteren gepolariseerd licht en lijken daardoor op watervlaktes (zoals ook andere artificiële structuren zoals glas- en asfaltvlakten; Horváth *et al.* 2009, 2010). Het blijkt dat waterinsecten sterk worden aangetrokken door zonnepanelen, o.a. voor de eileg (Horváth *et al*. 2009, Herden *et al*. 2009). Panelen worden zelfs geprefereerd over watervlaktes. Panelen werken op deze manier als val, maar tot dusver is er geen onderzoek gedaan naar effecten op populatieniveau. Száz *et al*. (2016) benadrukken wel het "*potential to negatively impact their global populations [of aquatic insects] as solar energy expands*".

Aantrekkingskracht van panelen op waterinsecten kan verminderd worden door witte strepen op de panelen aan te brengen. Kleine strepen (1.8% van oppervlakte) blijken voldoende (Horváth *et al.*

2010). Matte panelen met anti-reflectieve coatings blijkt niet te helpen (alleen onder bepaalde weersomstandigheden en voor bepaalde soortgroepen; Száz *et al*. 2016). Daarnaast wordt aanbevolen zonneparken niet te dichtbij watervlaktes te plaatsen (Száz *et al.* 2016), waarbij niet wordt aangegeven welke minimale afstand tot water aangehouden zou moeten worden.

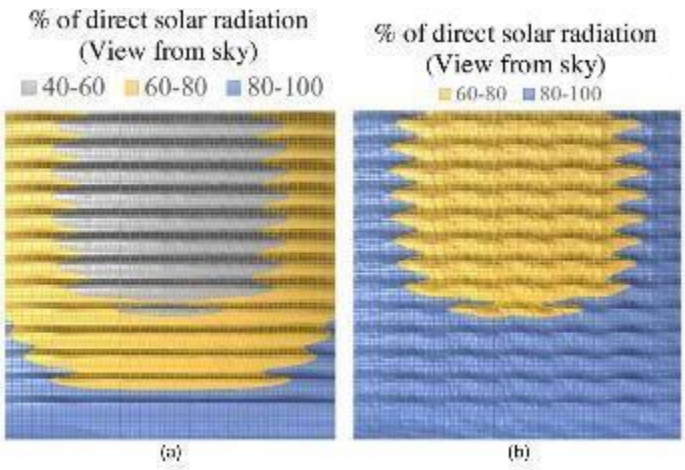
Andere insecten dan waterinsecten zouden ook door het gereflecteerde gepolariseerd licht aangetrokken of anderszins beinvloedt kunnen worden, bijvoorbeeld hommelachtigen of andere visueel ingestelde insecten, maar hierover werd geen informatie gevonden.

Tenslotte zijn er aanwijzingen dat ook vleermuizen panelen als wateroppervlakten waarnemen. Het lijkt echter onwaarschijnlijk dat daardoor een aanvaringsrisico bestaat. Er zijn geen studies bekend waar slachtoffers gevonden werden (reviewed door Taylor 2010 en Harrison *et al*. 2017).

Effecten van zonneparken op de bodem en bodembiodiversiteit

Bij een ecologische inrichting van zonneparken met extensief beheerde vegetaties als uitgangspunt, zal de kans op bodembederf nihil zijn, en is juist een positief effect op de structuur en kwaliteit van de bodem te verwachten, vooral als de uitgangssituatie intensieve landbouwgrond was. Omdat de grond voor lange tijd uit productie genomen wordt (verwachte looptijd zonneparken varieert tussen de 15 tot 30 jaar) kan de grond tot rust komen en de bodemkwaliteit herstellen en verbeteren. Een specifiek aandachtspunt is het voorkomen van bodemverdichting tijdens de aanleg van zonneparken. Erosie en verspoeling van de bodem kan een issue zijn als panelen vlak liggen en de ruimte tussen rijen panelen nauw is, vooral als de vegetatie slecht ontwikkeld is, en in het geval het zonnepark op een helling gebouwd is. Erosie kan op alle bodems voorkomen.

Vegetatie onder panelen ontwikkelt zich slechter naar mate een groter deel van het voor de fotosynthese bruikbare directe en diffuse licht wordt tegengehouden (Beattly *et al*. 2017, Dupraz *et al* 2011, Fraunhofer Institute 2017, Kok *et al*. 2017, Majumdar *et al*. 2018, Valle *et al*. 2017). De mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van de eigenschappen van het zonnepark. Een zonnepark bestaat uit 'tafels' waarin een groot aantal panelen zijn samengevoegd tot één geheel. Een zonnetafel (*solar array)* heeft een lengte, een breedte, een minimum en maximumhoogte die de hellingshoek bepalen en een expositie. Binnen de zonnetafel zijn er horizontale en verticale spleten tussen de afzonderlijke panelen van meestal één a twee centimeter breed die licht en regenwater doorlaten. Ze kunnen geheel of gedeeltelijk voorkomen dat regenwater helemaal afstroomt naar de onderrand van de tafel. Al deze eigenschappen bepalen mede hoeveel licht en regenwater er op de bodem onder de tafels valt en daarmee in welke mate vegetatiegroei hierdoor wordt beperkt. Met simulatiemodellen is voor gespecificeerde opstellingen te berekenen hoe groot de lichtreductie over het groeiseizoen of op en bepaald moment van het seizoen of de dag zal zijn (figuur 7).



Figuur 7. Gemodelleerde zonlicht reductie in op het Zuiden gerichte panelen; waarbij de tafels de helft (a) of een kwart van de bodem bedekken (naar Majumdar&Pasqualetti, 2018, overgenomen uit Frambach et al. 2018).

Er bestaat geen overzicht van de eigenschappen van de Nederlandse zonneparken en er zijn geen metingen bekend van de hoeveelheid regenwater en licht onder de zonnetafels. Er zijn slecht enkele publicaties gevonden met meetwaarden onder zonnepanelen (Dupraz *et al* 2011, Armstrong *et al* 2016, Fraunhofer Institute 2017). Het diffuus licht nam af tot ongeveer 60%. In een agrivoltaic systeem met een halve dichtheid aan panelen was de hoeveelheid licht onder panelen van 1 m hoogte 55% tot 85%. Onder hoge zonnepanelen is de lichtreductie veel minder. Er zijn oogstopbrengsten mogelijk die slecht 5% (grasklaver mengsel) en 18 tot 19% (aardappels, tarwe) lager zijn dan anders (Frauenhofer Institute 2017). In Estland zijn proeven gedaan met kunstmatige beschaduwing van 46 grassen en graslandplanten (Semchenko *et al* 2012). De studie laat zien dat veel planten een groot aanpassingsvermogen hebben en dat de soorten verschillend reageren. Er zijn veel schaduwminnende planten die juist profiteren van beschaduwing. Bij een beschaduwing tot 50% van het daglicht nam de droge stofproductie zelfs toe, bij 25% van het daglicht was er nog geen significante afname en pas bij 10% of minder was de vegetatiegroei echt geringer. Met modellen voor de toetreding van licht onder zonnepanelen en voor de groei van gras onder die omstandigheden is het mogelijk een drempelwaarde te bepalen waarbij de productie van organische stof voldoende is, voor behoud van het bodemleven, of b.v. het uitgangspunt de de hoeveelheid organische stof op peil moet blijven. Deze modellen zijn nog niet toegepast waardoor er nu nog geen conclusie te trekken valt over de minimale hoeveelheid licht en over richtlijnen voor installatiekenmerken.

In een recent afgerond studentenonderzoek (Frambach *et al* 2018) is op zonnige dagen de relatieve hoeveelheid licht (PAR, photosynthetic active radiation) gemeten onder zonnepanelen in vier op het zuiden gerichte zonneparken (hoogte minimaal 50-70 cm maximaal 220-245 cm, helling 16 tot 21 graden, breedte van de tafels 4 tot 6 m en de breedte tussen de rijen 4.6 tot 6 m). Aan de randen van de tafels was de relatieve reductie van de hoeveelheid licht op bodemhoogte 58% tot 82%, in het midden 89 tot 95%. Een algemene observatie was dat er midden onder de tafels meestal minder vegetatie was, bestaand uit evenveel maar andere soorten. In de schaduw stonden duidelijk minder bloeiende planten dan in volle zon. Deze vanwege het geringe aantal waarnemingen niets toetsbare observatie geven een eerste indruk. Er kunnen nog geen conclusies aan worden verbonden.

In een korte studie door studenten is in september-oktober van dit jaar (2018) in vier zonneparken gekeken naar de diversiteit en abundantie van regenwormen (Frambach *et al* 2018). De uitkomst was dat er middenonder de panelen minder wormen werden waargenomen (niet toetsbaar

vanwege het beperkt aantal waarnemingen). De obervaties wijzen ook op minder bodemactiviteit (CO_2 in bodemlucht), nattere omstandigheden aan de zuidkant (drup) en drogere omstandigheden (water infiltratie) onder de panelen. Tussen de parken zijn er behoorlijke verschillen in de waarnemingen zodat eenduidige conclusies nog niet kunnen worden getrokken.

Maatregelen om biodiversiteit te bevorderen in zonneparken

In verschillende studies, richtlijnen en inrichtingsplannen worden aanbevelingen gedaan over het treffen van maatregelen om de biodiversiteit te herstellen (tabel 1). Twee aspecten worden daarbij vaak benoemd, en lijken de kern van een ecologische inrichting te vormen.

(a) extensief beheer van de grond onder en tussen panelenrijen (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007, BRE 2014, Herden *et al* 2009, Lieder & Lumpe 2012, Montag *et al* 2016, NABU 2010, Peschel 2010, Raab 2015).

(b) buffer met een ecologische invulling rondom het zonnepark (zoals struiken en hagen; bijvoorbeeld BirdLife Europe 2011, BRE 2014, Herden *et al* 2009, NABU 2010, Raab 2015, WWF 2013). Buffer omvat ook een brede strook van extensief beheerd kruidenrijk grasland of braakvegetatie.

Maatregelen zijn veelal gebaseerd op algemene kennis, maar de wetenschappelijke onderbouwing ontbreekt grotendeels. Hier ligt een belangrijke opgave voor de toekomst.

Aanbevelingen en checklist

Informatie over de effecten van zonneparken op biodiversiteit is vervat in een aantal algemene aanbevelingen (tabel 1). Deze aanbevelingen zijn gerangschikt naar planningsfase, bouwfase, maatregelen binnen het zonnepark, en maatregelen aangaande de rand van het zonnepark. Aanbevelingen zijn vervolgens expliciet gemaakt middels een checklist. De checklist kan beschouwd worden als een meer praktische versie van de algemene aanbevelingen. Bij de aanvraag voor de ontwikkeling en bouw van een zonnepark kan de checklist gebruikt worden om te beoordelen of dat er voldoende nagedacht is over de ecologische inrichting van het park. De punten op de checklist worden onderbouwd met de algemene aanbevelingen, en uiteindelijk de individuele studies in bijlage 1.

Tabel 1. Algemene aanbevelingen voor ecologische inrichting van zonneparken gebaseerd op de beschikbare literatuur.

Aanbeveling	**Motivatie/Opmerking**	**Wetenschappelijke onderbouwing**	**Aanbeveling**
Algemeen			
Planning locatie zonnepark			
Leg zonnepark niet aan in natuurgebied, aangrenzend aan natuurgebied enkel indien zorgvuldig ingepast	Verlies aan leefgebied met hoge natuurwaarden. In specifieke gevallen biedt de aanleg van zonneparken direct naast natuurgebieden kansen om de kwaliteit van het natuurgebied te verbetren. Bijvoorbeeld, door de aanleg van een zonnepark naast een natuurgebied zou de grondwaterstand verhoogd kunnen worden, wat ook het natuurgebied ten goede zou kunnen komen. Ook zonneparken naast weidevogelkerngebieden zouden een positief effect op de lokale weidevogelpopulatie kunnen hebben als zo'n zonnepark goede en veilige opgroeimogelijkheden voor kuikens zou bieden.	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Leg zonneparken in principe niet in of direct naast natuurgebieden. Zonneparken naast natuurgebieden alleen toestaan als ze meerwaarde voor kwaliteit natuurgebied hebben.
Verplicht insecten-vriendelijke panelen in het geval van bouw naij water (meren en plassen)	Panelen val voor waterinsecten, maar probleem kan verholpen worden door speciale panelen te gebruiken met witte strips.	Onderzocht, ten minste tendens voor effect gevonden. Een onbekende variabele is tot op welke afstand van het water waterinsecten beinvloed worden.	Verplicht insecten-vriendelijke panelen in het geval van bouw nabij water (meren en plassen).
Planfase			
Laat meerdelige natuurtoets (0-meting) uitvoeren volgens gestandaardiseerde (wetenschappelijke) methodes	Doel is om natuurwaarden voor de aanleg vast te stellen. Indien landelijk een protocol voor biodiversiteitsmetingen in zonneparken wordt afgesproken kan zo'n protocol ook gebruikt worden voor het uitvoeren van een nulmeting voorafgaand aan de bouw.		Verplichten bij ieder park. Protocol nog te bepalen.
Laat biodiversiteitsbeheerplan opstellen, met input van ecoloog	Plan omvat ecologische inrichting en beheer, afgestemd op lokale doelsoorten. Plan omvat in ieder geval de volgende onderdelen: (1) plan voor ecologische inrichting en beheer van rand van het park, (2) plan voor ecologische inrichting en beheer van het park zelf (type vegetatie en beheer		Verplichten bij ieder park

	daarvan, eventuele gebiedsspecifieke bijzondere habitats, configuratie en ruimte tussen panelen)		
Laat plan voor behoud - verbetering bodemstructuur en bodemkwaliteit opstellen, met input van bodemkundige	Plan omvat maatregelen om bodemverdichting en erosie tegen te gaan. Onderdeel van het plan is een beschrijving van de relatie tussen eigenschappen van de zonnetafels en de mate waarin licht en regenwater de bodem bereiken.		Verplichten bij ieder park
Na de realisatie/bouw			
Monitor biodiversiteit, ten minste insecten en vogels, volgens gestandaardiseerde methoden	Monitoring afstemmen op specifieke lokale doelsoorten. Monitoren broedvogels *en* overwinterende vogels (jaarrond monitoren). Observeren ruimtelijk gebruik door vogels. Zorg dat de data verzameld worden in landelijke databases en beschikbaar komen voor analyses.		Verplicht altijd een *before-after control-impact* benadering om impact te kwantificeren
Tijdens bouw zonnepark			
Minimaliseer de grootte van de bouwplaats en toegangswegen	Minimaliseren verstoring	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Check of minimaliseren impact onderdeel van planning bouw park is
Minimaliseer gebruik verlichting	Minimaliseren verstoring	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Check of minimaliseren impact onderdeel van planning bouw park is
Houd rekening met broedseizoen vogels	Alle broedende vogels beschermd		Check in het geval van bouw in zomermaanden (april-juli) of dat er conflict met broedende vogels zou kunnen zijn
Bescherm de bodem, neem maatregelen tegen bodemverdichting	Zware machines verdichten bodem wat tot bederf bodemstructuur leidt. Volg met constructies en grondwerkzaamheden zo veel mogelijk de hoogtelijnen zodat niet bij een stortbui versnelde afstroming wordt bevorderd.	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Laat in plan opnemen hoe er wordt omgegaan met bodem tijdens de bouw (bijvoorbeeld ´grondstrippen´)
Maatregelen en aandachtspunten binnen zonnepark			
Algemeen			

Behoud waardevolle habitats en elementen, plaats daar geen zonnepanelen	Bedoeld worden poelen, bestaand veldstruweel, etc. Houdt aardkundig waardevolle hoogteverschillen zoals kreek- en dekzandruggen, of slenken en eeuwenoude sloten in stand.	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'. Een lijst waarin waardevolle habitats en elementen gespecificeerd worden zou moeten worden opgesteld.	Inventariseer waardevolle habitats en elementen voor bouw zonnepark, check dat deze bij planning gespaard worden
Gebruik inheemse planten	Vermijdt gebruik exoten bij aanleg kruidenrijk grasland en andere natuurlijke habitats	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Check dat gebruik inheemse zaden benoemd wordt
Minimaliseer verlichting	Lichtvervuiling	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Check dat zonnepark in principe 's nachts niet verlicht wordt
Hoofdgewas (gewas tussen en onder panelen)			
Algemeen: Creëer kruidenrijk grasland en/of kruidenrijke braakvegetaties (inzaaien, of spontaan laten ontstaan d.m.v. gebruik maaisel)	Extensief beheerde vegetaties dragen bij aan biodiversiteit. Belangrijk om af te stemmen op doelsoorten (volgens biodiversiteitsbeheerplan). Extensief beheerde vegetaties dragen ook bij aan ondergrondse biodiversiteit en daarmee bodemkwaliteit. Daarnaast is bodem robuuster tegen verstoringen (erosie).	Onderzocht, ten minste tendens voor effect gevonden. Een overzicht over welke habitats voor welke soorten van belang zijn is noodzakelijk.	Laat beheerplan opstellen, check dat keuze voor gewassen/habitats is afgestemd op doelsoort.
Voor zonneparken binnen het leefgebied voor akkervogels: Teelt extensief gewas zoals Luzerne of leg vogelakker (vorm van agrarisch natuurbeheer met afwisseling tussen stroken luzerne en braakstroken) aan.	Luzerne is gewas waarvan positief effect op akkervogels bekend is. Luzerne heeft bovendien een positief effect op bodemstructuur (diepe doorworteling) en bodemkwaliteit (organische stofgehalte, vastlegging stikstof). Luzerne kan echter niet langer dan 3-5 jaar geteeld worden, dus zal altijd binnen een gewasrotatie geteeld moeten worden. Vogelakkers moeten tenminste elke twee a drie jaar bewerkt en of opnieuw ingezaaid worden. Bij de planning van het park zal rekening moeten worden gehouden met het feit dat allerlei bewerkingen noodzakelijk zijn (maaien, oogsten, ploegen, zaaien).	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'.	Check dat als er gekozen wordt voor de teelt van een gewas dat dit een extensief gewas met meerwaarde voor akkervogels is (bijv. Luzerne).
Beheer habitats extensief (lange tijd tussen maaimomenten, laat maaien, niet altijd alles maaien)	Extensief beheerde vegetaties dragen bij aan biodiversiteit. Daarbij is het van belang dat maaibeheer in ruimte en tijd gevarieerd wordt. Voor de overwintering van insecten is het	Onderzocht, ten minste tendens voor effect gevonden.	Laat beheerplan opstellen, check dat beheer extensief is

	van belang dat een deel van de vegetatie niet gemaaid wordt en in de winter over blijft staan. Voor insecten moeten er in de zomer altijd bloeien de planten beschikbaar blijven.	Richtlijnen moeten opgesteld worden.	
Vermijd intensieve begrazing/gebruik door vee (schapen), varkens, kippen.	Begrazing kan meerwaarde hebben (ook vanuit oogpunt van kostenefficiënt beheer) maar intensieve begrazing heeft negatief effect op biodiversiteit (Raab 2015).	Onderzocht, ten minste tendens voor effect gevonden. Er zouden richtlijnen voor maximale dichtheden aan dieren opgesteld moeten worden.	Laat geen begrazing toe, mits extensief.
Geen gebruik (kunst)mest en bestrijdingsmiddelen	Randvoorwaarde voor ontwikkeling en in stand houden extensieve biodiverse vegetaties. Toepassing van ruige mest kan juist meerwaarde hebben, ook voor kwaliteit bodem.	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Check of geen gebruik pesticiden en mest is opgenomen in beheerplan
Gebiedsspecifieke bijzondere habitats			
Creëer deelgebieden met open grond	Variatie heeft meerwaarde voor biodiversiteit. Moet wel aansluiten bij doelsoorten.	Onderzocht, ten minste tendens voor effect gevonden	Stimuleer als er meerwaarde voor doelsoort bestaat. In overleg met ecoloog (en zoals vastgelegd in biodiversiteitsplan)
Creëer deelgebieden met braakvegetatie	Variatie heeft meerwaarde voor biodiversiteit; aansluiten bij veldstruweel of andere opgaande vegetatie. Moet wel aansluiten bij doelsoorten.	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Stimuleer als er meerwaarde voor doelsoort bestaat. In overleg met ecoloog (en zoals vastgelegd in biodiversiteitsplan).
Creëer zand- en steenhopen	Variatie heeft meerwaarde voor biodiversiteit. Moet wel aansluiten bij doelsoorten.	Onderzocht, ten minste tendens voor effect gevonden	Stimuleer als er meerwaarde voor doelsoort bestaat. In overleg met ecoloog (en zoals vastgelegd in biodiversiteitsplan).
Creëer houtstapels en takkenrillen	Variatie heeft meerwaarde voor biodiversiteit. Moet wel aansluiten bij doelsoorten.	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Stimuleer als er meerwaarde voor doelsoort bestaat. In overleg met ecoloog (en zoals

			vastgelegd in biodiversiteitsplan).
Creëer poelen en sloten	Variatie heeft meerwaarde voor biodiversiteit. Moet wel aansluiten bij doelsoorten. Natuurvriendelijke oevers.	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Stimuleer als er meerwaarde voor doelsoort bestaat. In overleg met ecoloog (en zoals vastgelegd in biodiversiteitsplan).
Technische structuren			
Plaats nestkasten voor vogels	Kan soorten helpen zich te vestigen, wel goed nadenken over doelsoorten.	Onderzocht, ten minste tendens voor effect gevonden	Stimuleer plaatsing nestkasten voor bepaalde doelsoorten
Richt daken transformatorhuisjes ecologisch in		Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Stimuleer ecologische inrichting daken
Configuratie zonnepanelen			
Plaats panelen niet direct op de grond	Stimueer een zekere afstand boven de grond (minimale afstand van 0.8 m boven grond aanbevolen door ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007) zodat vegetatie zich onder panelen kan ontwikkelen.	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'. Een urgente kennislacune betreft hoe hoogte, expositie, helling en ruimte tussen panelen en zonnetafels de vegetatieontwikkeling beinvloeden.	Check of panelen op zekere hoogte (aanbeveling 0.8 m) van de grond staan
Houd voldoende ruimte tussen rijen panelen	NABU (2010) adviseert om slechts 50% oppervlakte te benutten. Provincie Groningen hanteert minimum van 10% aan doelgerichte beheermaatregelen. Meer licht en regenval op bodem bij meer ruimte tussen panelen wat bodemkwaliteit en vegetatieontwikkeling bevorderd (leidt ook tot minder erosie).	Onderzocht, ten minste tendens voor effect gevonden. Een belangrijke kennislacune is hoe ruimte tussen panelen/zonnetafels het gebruik van zonneparken door vogels beinvloed.	Verplicht bepaald minimum % aan maatregelen (nog nader te bepalen).
Opteer voor een configuratie met een steilere hoek van panelen – of verticale panelen	Minder erosie door regenval	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'.	Laat plan voor behoud - verbetering bodemstructuur en bodemkwaliteit opstellen.

			Check dat hierin aandacht voor erosie bestaat.
Gebruik doorzichtige panelen	Deel van het zonlicht bereikt de bodem	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'.	Optie exploreren
Maatregelen en aandachtspunten rand zonnepark			
Hekwerk/beveiliging			
Heggen/sloten i.p.v. hekwerk gebruiken		Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Optie exploreren
Hekwerk doordringbaar maken voor kleine zoogdieren, amfibieën en reptielen	Bijvoorbeeld door onderaan ongeveer 10 cm ruimte te laten of door op diverse plekken gaten in hekwerk aan te brengen	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'. Behoefte aan kennis over barrierevorming hekwerk.	Optie exploreren in het geval dat belang van opheffen barrierewerking hekwerk belangrijker is dan het creëeren van een *safe haven* voor broedvogels binnen het park (zie volgende punt)
Hekwerk ondoordringbaar maken voor grote predatoren	Binnen zonnepark '*safe haven*' voor grondbroedende akkervogels. Bijvoorbeeld door hekwerk tot op/in grond te laten lopen	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'. Behoeft aan kennis over mate van predatie binnen zonneparken.	Optie exploreren in het geval dat het creëeren van een *safe haven* voor broedvogels belangrijker is dan het opheffen van barrierewerking van het hekwerk voor andere soorten (zie vorige punt)
Geen bewaking met honden	Verstoring door honden sterk negatief effect op akkervogels	Onderzocht, ten minste tendens voor effect gevonden	Bewaking door honden niet toestaan.
Habitatstructuren			
Aanplanten heg en veldstruweel langs gehele buitenrand	Struiken en stuweel bieden veilige broedplaatsen en voedsel voor bepaald type akkervogels (bijv. Geelgors, Grasmus, Paapje).	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene kennis'	Verplichten van ecologische en landschappelijke inbedding
Brede extensief beheerde rand rondom zonnepark	Versterkt het effect van struweel.	Niet onderzocht maar in overeenstemming met 'algemene	

		kennis’. Belangrijke kennislacune is wat de precieze meerwaarde van bufferranden op biodiversiteit is.	

Box IV. Voorbeelden van ecologisch beheerde zonneparken in NL

Hier wordt een kort overzicht gegeven van reeds gerealiseerde zonneparken met een uitgesproken ecologisch beheer die als inspiratie voor ideeën voor een ecologische inrichting en specifieke maatregelen kunnen dienen.

De Kwekerij, nabij Hengelo, Gelderland. http://nlsolarparkdekwekerij.nl/. Zie ook http://nlsolarparkdekwekerij.nl/wp-content/uploads/2017/11/Artikel-Solar-park-en-GD-in-vakblad-Groen-nov17-1-2.pdf

Dit relatieve kleine park van 7 ha is als een park aangelegd, en het is dan ook open voor publiek. Het streeft een combinatie van zonne-energie, natuur en recreatie/educatie na. Er is geen informatie over precieze beheermaatregelen gevonden. Maatregelen om de biodiversiteit te bevorderen omvatten onder andere extensieve begrazing, insectenhotels, nestkasten, bloemrijke randen, taluds, wadi's (ingezaaid met inheems plantgoed), en deels Meidoorn in plaats van hekwerk.

Ubbena, nabij Assen, Drenthe. https://www.trouw.nl/groen/ecologisch-zonnepark-is-geen-geldmachine-maar-draagt-wel-zorg-voor-de-natuur~ae059f46/

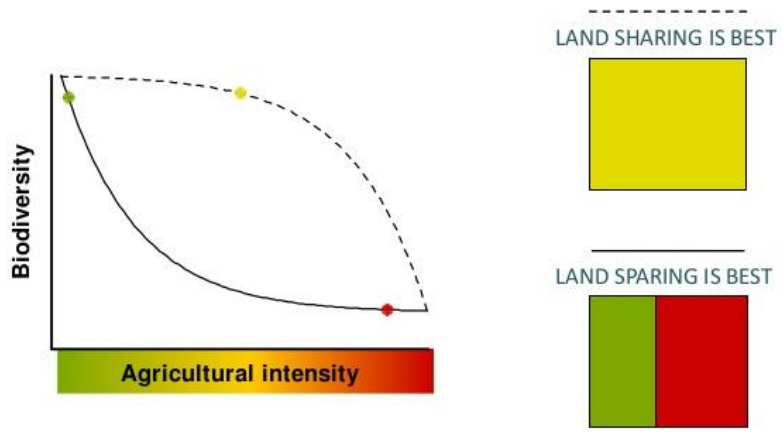
In dit kleine park van 2 ha werkt energiebedrijf Vrijopnaam samen met wildbloemenzaad-bedrijf Cruydt-Hoek. De afstand tussen de panelen is relatief groot, 5 m. Het gehele terrein in ingezaaid met een wildbloemenmengsel. Het beheer bestaat uit maaien en afvoeren. Er vindt geen begrazing plaats. Een medewerker van de Cruydt-Hoek verwacht "geen stormloop van weidevogels", wegens het gebrek aan uitzicht, maar verwacht wel een toename van "bodembroeders".

Duiven, bij Arnhem, Gelderland. https://www.ginkelgroep.nl/actueel/zonnepark-duiven-kleurt-groen/

Dit zonnepark is ingezaaid met bloemrijke kruiden. Andere maatregelen zijn takkenrillen onder enkele panelen, en nestkasten. Het hekwerk wordt omringt door een elzenhaag. Het gebied wordt extensief begraasd.

Box V. Scheiden of verweven van functies

In deze rapportage wordt gezocht naar de beste manier om zonneparken ecologisch in te richten. Het achterliggende idee is dat door deze verweving van functies er niet een stuk leefgebied verloren gaat bij de aanleg van een zonnepark, maar dat het leefgebied juist wordt verbeterd. Een geheel andere benadering zou zijn om het zonnepark juist zo compact mogelijk te maken en buiten het zonnepark te compenseren voor het verlies van leefgebied middels het aanleggen van hoogwaardig habitat. In dit geval spreken we dan van het scheiden van functies. Deze twee alternatieve benaderingen om biodiversiteit te verbeteren voeren terug op een oude ecologische discussie over *land sharing* (verweven van functies) en *land sparing* (scheiden van functies). Theoretische beschouwingen demonstreren dat de keuze voor *land sharing* of *land sparing* afhangt van hoe de relatie tussen biodiversiteit en intensiteit van grondgebruik er uit ziet. Is dit een holle functie dan is *land sparing* het alternatief dat biodiversiteit maximaliseert, is dit een bolle functie dan is *land sharing* het optimale alternatief (figuur 8, Phalan *et al* 2011, Fischer *et al* 2008).



Figuur 8. Theoretisch model over land sharing versus land sparing. Afhankelijk van de vorm van de relatie tussen biodiversiteit en intensiteit van grondgebruik maximaliseert een benadering van land sharing of land sparing de biodiversiteit.

In het geval van zonneparken is het niet mogelijk de relatie tussen de intensiteit van grondgebruik (bijvoorbeeld uitgdrukt in het % oppervlak bedekt door panelen) en biodiversiteit omdat gegevens ontbreken. Op voorhand is het daarom niet mogelijk een uitspraak te doen of dat een ecologische inrichting (*land sharing*) een betere optie is dan buiten het zonnepark te compenseren (*land sparing*). Bij *land sparing* moet er een keuze worden gemaakt hoe veel er aan oppervlakte gecompenseerd zou moeten worden. Een grove inschatting is dat dit tussen de 10-20% van het oppervlak van het zonnepark zou moeten zijn. Bij een land sparing strategie kan er tevens voor gekozen worden om niet naast maar op een andere locatie te compenseren, bijvoorbeeld naast een natuurgebied of weidevogelkerngebied om deze te versterken.

Opgemerkt moet worden dat het sterk concentreren van zonnepanelen, bijvoorbeeld middels een dakjesconstructie (zie linker plaatje figuur 1), een negatief effect op de bodemkwaliteit zal hebben. Vanuit het perspectief van bodemkwaliteit zal een *land sharing* strategie altijd beter zijn dan een *land sparing* strategie.

Discussie

Effecten van zonneparken op de biodiversiteit, en maatregelen om biodiversiteit te bevorderen

Niet ecologisch ingerichte zonneparken lijken per definitie ten kost van het leefgebied van boerenlandvogels te gaan, dus nadenken over en het stimuleren van een ecologische inrichting van zonneparken blijkt relevant. Zonneparken lijken alleen voordelig voor boerenlandvogels en biodiversiteit in het algemeen te zijn in het geval het zonnepark op intensieve landbouwgrond met weinig natuurwaarden gebouwd wordt, en mits het zonnepark ecologisch ingericht en beheerd wordt (bijvoorbeeld BirdLife Europe 2011, RSPB 2014, Peschel 2010, Herden *et al* 2009, Raab 2015). Een kanttekening is dat de enige studie die dit echt laat zien door zonneparken te vergelijken met referentiegebieden is Montag *et al* (2016). Dit betreft echter geen peer-reviewed wetenschappelijk artikel en er bestaan veel onduidelijkheden over de precieze opzet van het vogelonderzoek.

Hoewel er redelijk veel literatuur over zonneparken en biodiversiteit bestaat, zijn er maar weinig studies beschikbaar die effecten van zonneparken op een goede manier hebben onderbouwd. Redenen voor het niet kunnen trekken van eenduidige conclusies in veel studies zijn bijvoorbeeld het ontbreken van een referentiegebied (of *before-after* vergelijking), en het niet kwantificeren van aantallen vogels (alleen soortenlijstje). Ook de relatie tussen mogelijke maatregelen en het effect op het voorkomen van specifiek boerenlandvogels blijft onduidelijk omdat hier in veel gevallen geen onderzoek naar is gedaan. Er wordt bij aanbevelingen vaak uitgegaan van algemeenheden ("het is algemeen bekend dat deze maatregel een positief effect op *vogels* heeft") zonder dat maatregelen in de context van zonneparken en specifiek boerenlandvogels getoetst zijn. Hier liggen belangrijke kennislacunes.

Het is belangrijk om te benadrukken dat de aanleg van een zonnepark ten koste gaat van het leefgebied van specifieke soortgroepen, i.e. de akkervogels in akkerbouwgebieden en de weidevogels in veenweidegebieden. Maatregelen ter bevordering van de biodiversiteit zouden in landbouwgebieden dan ook in eerste instantie vooral op deze soortgroepen gericht moeten zijn. Het is te verwachten dat er met de aanleg van een zonnepark er een verschuiving plaatsvindt in de samenstelling van de lokale vogelgemeenschap (bijvoorbeeld toename vogels van half-opene landschappen en nisbroeders). Hoewel hiermee het aantal vogelsoorten kan zijn toegenomen, hoeft dit niet te betekenen dat het zonnepark een ecologische plus op het leefgebied van de akkervogels die daar van origine voorkwamen heeft gezet. Het is daarom van belang dat er in de planningsfase ecologen betrokken worden die advies kunnen geven over hoe lokale doelsoorten met welke maatregelen te kunnen helpen. Het in een vroeg stadium betrekken van specialisten is een belangrijke aanbeveling ook vanuit de internationale literatuur (NABU 2010, BRE 2014).

Wanneer de bodem onder de panelentafels bijna volledig wordt afgeschermd van licht en regenwater zal de ondergroei afsterven en het bodemleven verstoken blijven van de aanvoer van verse organische stof. Als gevolg daarvan zou de bodemvruchtbaarheid ernstig kunnen afnemen, almede de hoeveelheid organische stof en de opnamecapaciteit voor water. Het is echter onbekend in welke mate dit nu optreedt of zou kunnen optreden. Dit is ook niet te voorspellen uit de eigenschappen van gerealiseerde of nog te realiseren installaties. De vegetatiegroei onder Nederlandse zonneparken lijkt in ieder geval op korte termijn niet belemmerd te worden. In de literatuur zijn er aanwijzingen dat pas bij een reductie van de hoeveelheid licht van 75% of meer (op jaarbasis) serieuze effecten te verwachten zijn. De doorwerking op het bodemleven zal bovendien sterk afhankelijk zijn van grondsoort en de gekozen beheervorm zoals het al of niet afvoeren van de vegetatie. Het effect van zonneparken op vegetatie en bodem is een belangrijke kennisleemte. Het kwantificeren van de directe relaties tussen eigenschappen van de zonneparken en de hoeveelheid

licht en regenwater dat de bodem bereikt en de indirecte relaties met vegetatie en bodemleven kan praktische richtlijnen opleveren om negatieve effecten van zonneparken op de gezondheid van de bodem te voorkomen of deze juist te bevorderen.

In diverse documenten met richtlijnen wordt aangegeven dat bij de aanleg van zonneparken voorkeur gegeven zou moeten worden aan minder productieve gronden. De motivatie voor deze richtlijn is dat hiermee de beste landbouwgebieden 'gespaard' zouden worden. Echter, minder productieve gronden kennen doorgaans een hogere biodiversiteit. Vanuit biodiversiteitsoogpunt zou het dan ook beter zijn zonneparken juist wel op de hoogproductieve gronden met lage biodiversiteitswaarden te plannen.

Maatwerk: verschillende maatregelen in verschillende landschappen

De noodzaak en effectiviteit van een bepaalde maatregel om de biodiversiteit te bevorderen kent een sterke lokale component doordat akkervogelpopulaties tussen landschappen verschillen. Zo is een maatregel als het aanbieden van kunstmatige nestgelegenheid voor Ringmussen waarschijnlijk zinloos in zeer open akkergebieden waar Ringmussen niet als broedvogel voorkomen. Deze maatregel is juist wel waardevol in meer besloten akkerbouwgebieden of daar waar een zonnepark aansluit bij een bosje of dorp waar Ringmussen van nature al voor komen.

Maatwerk wordt ook geadviseerd bij de aanplant van struwelen rondom een zonnepark. In open landschappen is de aanplant van lager veldstruweel aan te raden, omdat daarmee het open karakter van het landschap niet verloren gaat. In een meer besloten landschap past een brede en hoge haag beter in het landschap, en sluit ook beter aan bij de ecologische randvoorwaarden van de daar voorkomende akkervogels.

Aanbevelingen voor monitoring

Er kunnen een aantal aanbevelingen worden gedaan voor monitoring van boerenlandvogels. Ten eerste zou monitoring zich niet alleen moeten richten op broedvogels, maar zou een jaarrond benadering gekozen moeten worden. Onderstreept wordt het belang van kwantitatieve monitoring (aantal territoria) in plaats van kwalitatieve (alleen soortenlijsten) monitoring. Ook wordt benadrukt dat monitoring gedurende meerdere jaren moet plaatsvinden. Verschillende studies laten zien dat de herkolonisatie of afnames langzaam gaan (Heindl 2016, Lieder & Lumpe 2012, Raab 2015). Specifieke onderzoeken naar het ruimtelijk gebruik van vogels en zonneparken om in te broeden of in te foerageren ontbreken of zijn anekdotisch en vormen daarmee een belangrijke kennishiaat.

Quick-scans die gemaakt worden tijdens de planfase, om een idee te krijgen over welke soorten op de geplande zonnepark locatie voorkomen, beperken zich veelal strict tot het precieze gebied waar het zonnepark gepland is. Ook letten ze doorgaans alleen op soorten met een hoge beschermingsstatus. Echter, soorten die niet in het gebied zelf maar het daarbuiten broeden, en waarvan het geplande zonnepark onderdeel van hun leefgebied is, worden net zo goed door het zonnepark beïnvloed. Quick-scans zijn daarmee onvoldoende om een goed beeld te verkrijgen van het mogelijke effect van een zonnepark op boerenlandvogels.

Om de gezondheid van de bodem te monitoren zijn er verschillende meetmethoden ontwikkeld. Een veelbelovende integrale tool is de *Soil health Index (SHI)* die momenteel ontwikkeld wordt (Bloem en Korthals, in voorbereiding). De Nederlandse variant van de SHI zou de volgende indicatoren

omvatten: de potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) en heet water extraheerbaar koolstof (HWC). Deze SHI kent dus een biochemische basis, waarbij biologische bodemkwaliteit niet gemeten wordt. Voor een breder toepasbaarder SHI gericht op ook bodemdiensten (Griffiths *et al.* 2018) is er meer nodig dan alleen labiele organische stof. Naast mineraliseerbare stikstof en heet water extraheerbaar koolstof zou er dan ook informatie verzameld moeten worden over bacteriële biomassa, schimmelbiomassa, nematoden (aantallen en diversiteit) en regenwormen (aantallen en diversiteit).

Deze belangrijke groepen bodemorganismen kunnen op verschillende manieren worden gemeten. Schimmels, bacteriën en nematoden zijn tot nu toe voornamelijk microscopisch gemeten. Voor schimmels en bacteriën is het lastig om grote aantallen monsters te verwerken. Internationaal gezien worden PLFA analyses steeds vaker toegepast. Daarnaast zijn er diverse ontwikkelingen aangaande kwantitatieve DNA technieken. Er bestaan diverse goede methoden om regenwormen te monitoren. Bij veldmetingen moet rekening worden gehouden met veel variatie. Dit is minder het geval bij metingen die in samengestelde mengmonsters in een lab worden uitgevoerd. Daarnaast is het nodig dat tevens referentiedata worden verzameld (buiten zonnepark), en er ook meer inzicht komt in seizoensvariatie.

Kennislacunes

Eén van de duidelijkste conclusies uit het literatuuroverzicht is dat er verrassend weinig onderzoek is gedaan naar de ecologische inrichting van zonneparken. Wat levert welke maatregel precies op? De aanbevelingen die worden gedaan in documenten met richtlijnen en in *Biodiversity Management Plans* (*BMP*) zijn veelal gebaseerd op algemene kennis in plaats van detailonderzoek. Hieronder zetten we de belangrijkste en meest prangende kennislacunes op een rij, inclusief een korte schets van het benodigde onderzoek.

a) Wat zou voor welke doelsoorten de optimale vegetatie onder en tussen de rijen zonnepanelen zijn? Oftewel, in het geval van broedvogels, welk habitat wordt door welke soorten uitgekozen om in te broeden en naar voedsel te zoeken. Belangrijk hierbij is de lokale context. In open gebieden komen andere doelsoorten voor (Gele Kwikstaart, Veldleeuwerik) die een andere voorkeur zullen hebben dan de doelsoorten van meer gesloten gebieden (Paapje, Patrijs). Een mogelijk aanpak om de selectie van verschillende soorten te testen is een keuze-experiment waarbij de helft van een zonnepark met het ene, en de andere helft met een ander habitat wordt ingericht. Door vervolgens bij te houden welke vogels waar voorkomen, inclusief observaties aan nesten en voedselvluchten, wordt een goed beeld verkregen van de habitatselectie. Resultaten helpen bij het maken van de juiste keuze wat betreft het gewas. Hierbij zullen er belangrijke verschillen zijn tussen akker- en weidevogelgebieden.
b) In hoeverre zet de aanleg daadwerkelijk een ecologische plus op het leefgebied van boerenlandvogels? Oftewel, zien we een toename van het aantal boerenlandvogels na de aanleg van het zonnepark? Om deze vraag te beantwoorden hebben we goede *before-after control-impact* studies nodig, gerelateerd aan specifieke maatregelen. Dit zou gerealiseerd kunnen worden door een goede BACI studie te verplichten bij de aanleg van ieder park. Waarbij niet alleen ingezet wordt op broedvogelmonitoring maar ook naar het ruimtelijk gebruik door broedvogels van zonneparken wordt gekeken.
c) Hoe beïnvloedt de afstand tussen de rijen met zonnepanelen het gebruik van het zonnepark, en hoe verschilt dat tussen soorten? Tröltzsch & Neuling (2013) laten zien dat een grotere afstand tussen rijen panelen positief is voor belangrijke doelsoorten zoals de Veldleeuwerik. Een te korte

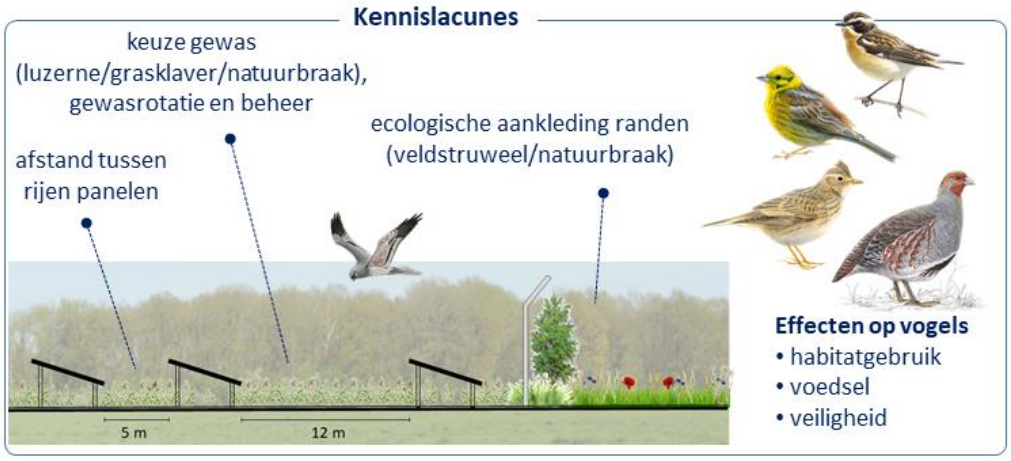
afstand tussen rijen panelen zou maatregelen om biodiversiteit binnen een park te verhogen inefficiënt kunnen maken wanneer vogels niet tussen de rijen panelen durven te broeden of zelfs foerageren. Een manier om dit te onderzoeken zou zijn om de afstand tussen rijen panelen te variëren (binnen een park, maar ook tussen parken), en vervolgens bij te houden welke vogels waar voorkomen, inclusief observaties aan nesten en voedselvluchten.

d) Wat is het optimale beheer van de maatregelen in en rondom zonneparken? Voorkomen moet worden dat maatregelen een ecologische val vormen, oftewel dat de soorten naar de zonneparken gelokt worden maar dat hun broedsucces en overleving ondermaats is. Dit zou onderzocht kunnen worden door het broedsucces van vogels te monitoren bij verschillende vormen van maai- en graasbeheer. Variatie bij maaibeheer is bijvoorbeeld de timing van en tijd tussen maaibeurten. Variatie in graasbeheer is bijvoorbeeld de variatie in het aantal dieren.

e) Profiteert de biodiversiteit het meest van een *land sharing* (ecologische inrichting zonneparken) of *land sparing* (compenseren buiten zonneparken) strategie? Een vergelijking zou kunnen worden gemaakt tussen biodiversitit in zonneparken met ecologische inrichting en zonneparken waarbij buiten het park gecompenseerd is.

f) Hoe kan worden voorkomen door de technische opbouw van een zonnepark en beheer dat op de bodem onder de panelen substantieel minder vegetatie groeit en als gevolg daarvan ook de gezondheid van de bodem afneemt? Dit zou onderzocht kunnen worden door regenval en licht onder verschillende opstellingen van zonneparken te monitoren, liefst in een experimentele opzet, en dit te relateren aan de ontwikkeling van de vegetatie. Deze waarnemingen zouden theoretische modellen kunnen voeden die hoeveelheid regenval en licht voor alle mogelijke opstellingen voorspellen.

g) In hoeverre biedt de aanleg van zonneparken in veengebieden koppelkansen t.a.v. reductie van veenoxidatie door middel van verhoging van de grondwaterstand? Wat zijn hierbij de effecten op biodiversiteit (boerenlandvogels) en op de bodem. Wat is de behaalde reductie aan CO_2-uitstoot? Een pilot studie waarbij veenbodem onder een zonnepark vernat wordt zou eerste inzichten op biodiversiteit en milieu kunnen geven.



Figuur 9. Schematische weergave van de belangrijkste kennislacunes.

Aanbevelingen voor beleid ten aanzien van de ecologische inrichting van zonneparken

De grootschalige ontwikkeling van zonneparken draagt het risico van het verlies van leefgebied van boerenlandvogels met zich mee, een soortgroep waar het al zo slecht mee gaat. Echter, met een juiste landschappelijke inpassing met ecologische inrichting en beheer biedt de aanleg van zonneparken kansen om de biodiversiteit in het agrarisch gebied op te krikken. De overheid zou hiervoor een doelgericht stimuleringsbeleid kunnen voeren mede ook om het maatschappelijk draagvlak voor zonneparken te vergroten. Het opstellen en uitvoeren van een biodiversiteitbeheerplan zou als voorwaarde voor de vergunningverlening gesteld kunnen worden. Wel mag dan verwachten worden dat de maatregelen die worden genomen aantoonbaar een positief effect hebben op de biodiversiteit. Daarom is een begeleidend monitorings- en onderzoeksprogramma dat maatregelen test en verbeterd van groot belang. Het sturen op inspanningen (nemen van maatregelen) in plaats van op effecten (toename van biodiversiteit) is in dit geval wenselijk omdat biodiversiteitswinst afhankelijk is van een groot aantal factoren, die deels buiten de invloedsfeer van de ontwikkelaar/eigenaar liggen (bijvoorbeeld dingen die buiten het zonnepark gebeuren).

Om inzicht te krijgen over te verwachten effecten van maatregelen en beheer op biodiversiteit en bodemkwaliteit zou van een grote steekproef aan zonneparken van zo veel mogelijk diergroepen data verzameld moeten worden volgens een landelijk afgesproken protocol. Het verplichten van een betere effectmonitoring volgens het *before-after control-impact* protocol zou zo'n database snel kunnen vullen. Het is van belang dat deze data centraal verzameld wordt en vrij beschikbaar wordt gesteld voor onderzoek.

Zoals hierboven geschetst zijn er een aantal belangrijke kennislacunes over maatregelen en beheer. Het is wenselijk gericht onderzoek te doen middels gerichte experimenten met inrichting en beheer. Zo'n onderzoeksprogramma zou gefinancierd kunnen worden uit een onderzoeksfonds waar ontwikkelaars bij de ontwikkeling van ieder zonnepark aan bijdragen. Omdat er momenteel veel parken gepland worden zal zo'n onderzoeksfonds snel afdoende gevuld zijn voor een ambiteuze onderzoeksagenda.

Checklist

Planningsfase		
1a	Zonneparken worden niet in een natuurgebied aangelegd. Zonneparken worden enkel direct naast een natuurgebied aangelegd als dit een duidelijke meerwaarde voor natuurgebied heeft, en indien zorgvuldig ingepast.	Bijvoorbeeld, door aanleg zonnepark kan gebied (inclusief natuurgebied) vernat worden. Of, zonnepark naast een weidevogelkerngebied biedt optimal opgroeimogelijkheden voor kuikens van weidevogels.
1b	Bij aanleg van zonneparken op en naast water worden waterinsecten-vriendelijke panelen gebruik (panelen met witte strips)	Met water worden plassen, meren en andere grotere wateren bedoeld en geen sloten of wijken.
1c	Er wordt voorafgaand aan de aanleg een goede nulmeting uitgevoerd middels een standaard monitoringsprotocol (kwaliteit bodem en huidige natuurwaarden in kaart gebracht voor zonnepark *en omgeving*, voor boerenlandvogels kwantitatieve meerdelige monitoring tijdens broedseizoen en in de winter).	Standaard monitoringsprotocol moet opgesteld worden. Dit omvat welke soortsgroepen op welke manier gemonitord worden. Omvat ook monitoring bodemkwaliteit. Data wordt in landelijke database opgeslagen.
1d	Er is samen met een ecoloog een plan voor ecologische inrichting gemaakt, inclusief beheer. Hierbij wordt gelet op de lokale situatie en bijbehorende doelsoorten.	Afstemming tussen maatregelen en doelsoorten.
1e	Er is een plan voor een goed bodembeheer opgesteld met een bodemkundige.	
1f	Biodiversiteit en bodem worden de eerste 5 jaar ieder jaar gemonitord volgens een vaststaand monitoringsprotocol. Daarna wordt het park iedere 5 jaar gemonitord.	Zie 1c. Ook hier richtlijnen voor standaard monitoringsprotocol. Data wordt in landelijke database opgeslagen.
1g	Het geplande zonnepark draagt bij aan het oplossen van een onderzoeksvraagstuk (kennisontwikkeling). Bijvoorbeeld, afstand tussen rijen panelen wordt gevarieerd, waardoor effect op gebruik door boerenlandvogels onderzocht kan worden.	Inclusief bijdrage aan financiering onderzoek (landelijk onderzoeksfonds).

Configuratie park		
2a	Zonnepanelen staan niet direct op de grond, en er is voldoende ruimte tussen de rijen panelen.	Zeker minimale afstand tot grond is aangehouden (aanbeveling betreft 0.8 m). De minimale afstand tussen rijen panelen is afdoende voor boerenlandvogels om de ruimte daartussen te benutten (de minimale/optimale afstand moet nader bepaald worden en betreft een belangrijke kennislacune). Op voldoende oppervlak (grove richtlijn minimaal 10% van oppervlakte binnen het hek rond het zonnepark) staan geen panelen.
2b	In het ontwerp wordt rekening gehouden met waardevolle landschapselementen, historische verkavelingspatronen en oorspronkelijk relief.	Een lijst van typen waardevolle landschapselementen moet opgesteld worden. Bijvoorbeeld poelen, hagen.
2c	Technische structuren zijn meegenomen bij ecologische inrichting	Nestkasten alleen in besloten landschappen.
2d	Er worden bijzondere habitats aangelegd als verwacht kan worden dat dit een positief effect op specifieke doelsoorten heeft.	Bijzondere habitats zijn open grond, braakvegetatie, zand- en steenhopen, houtstapels en takkenrillen, poelen en sloten. Er moet een lijst komen welke bijzondere habitats voor welke doelsoorten belangrijk zijn (bijvoorbeeld braakvegetatie voor muizenetende roofvogels en zaadetende zangvogels).
2e	In het geval dat er buiten het zonnepark gecompenseerd wordt (*land sparing* benadering) wordt er hoogwaardig leefgebied gecreeerd dat ten minste 10-20% van de oppervlakte van het zonnepark beslaat.	Exacte ondergrens moet nog bepaald worden.

Bouwfase		
3a	Er wordt beschreven hoe toegangswegen en bouwplaats te minimaliseren om negatieve effecten op biodiversiteit en bodem te verminderen	
3b	Er wordt beschreven hoe gebruik van verlichting geminimaliseerd wordt	
3c	Er is gecheckt dat werkzaamheden niet tijdens broedseizoen plaatsvinden, en als wel, dat er rekening met broedvogels gehouden wordt (niet daar werken waar op dat moment vogels nestelen)	
3d	Er worden maatregelen getroffen om bodemverdichting te voorkomen	
Maatregelen binnen zonnepark		
4a	Het zonnepark wordt ’s nachts niet verlicht	
4b	Bodem zonnepark wordt bedekt met een extensieve vegetatie zoals kruidenrijk grasland, Luzerne of braakvegetatie. In het plan voor de ecologische inrichting wordt onderbouwd waarom voor een bepaald gewas/bepaalde gewassen onder en tussen rijen zonnepanelen is gekozen. Het is ook duidelijk voor welke doelsoorten dit geldt.	Er zou een tabel moeten worden opgesteld waar (gebaseerd op laatste inzichten) per doelsoort wordt aangegeven welke gewassen, habitats, etc. relevant zijn (lees: verwacht kan worden dat ze positief effect op doelsoort hebben), incluis hoe dat gewas/habitat beheerd zou moeten worden.
4c	In het geval dat er een bepaald gewas wordt ingezaaid worden zaden van wilde van oorsprong in Nederland voorkomende plantensoorten gebruikt	
4d	Het beheer van de vegetatie onder en tussen rijen zonnepanelen is extensief.	Maaien: lange tijd tussen maaibeurten, laat maaien, niet alle vegetatie wordt in iedere maaibeurt gemaaid. Begrazing: alleen extensieve begrazing of drukbegrazing. Begrazing zet ecologische doelen al gauw onder druk.
4e	Er worden geen pesticiden, drijfmest of kunstmest gebruikt	Alleen bemesting met ruige mest toestaan

Maatregelen rand zonnepark (hekwerk)		
5a	Het zonnepark wordt niet met honden beveiligd	
5b	Hekwerk wordt omgeven met struiken en veldstruweel	Keuze voor hogere struiken (hagen) of veldstruweel hangt af van beslotenheid landschap. Haag in besloten landschap (struiken hoger dan hek), struweel in open landschap (struiken lager dan hek). Hierbij worden zoveel mogelijk inheemse soorten gebruikt.
5c	Brede buffer langs buitenrand met ecologische inrichting (aanbevolen minimale breedte betreft 9 m, smallere randen blijken ineffectief), met inachtneming van de landschappelijke inpassing	Kruidenrijke grasland of braakvegetatie (afhankelijk van doelsoorten) Hiervoor moet ook een beheerplan worden opgesteld.
Overig		
6a	Bij zonneparken die zijn opengesteld voor het publiek wordt een deel (ten minste 30%) afgesloten om rustgebied te creeren.	Als er buiten het zonnepark wordt gecompenseerd (in plaats van een ecologische inrichting), wordt dit gebied niet opengesteld voor publiek.

Literatuurlijst

ARGE Monitoring PV-Anlagen. 2007. Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen. https://www.bauberufe.eu/images/doks/pv_leitfaden.pdf (17-08-2018).

Armstrong A, Ostle NJ, & Whitaker J. 2016. Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. Environmental Research Letters 11(7):074016.

Armstrong A, Waldron S, Whitaker J, & Ostle NJ. 2014. Wind farm and solar park effects on plant–soil carbon cycling: uncertain impacts of changes in ground-level microclimate. Global change biology 20(6):1699−1706.

Beatty B, Macknick J, McCall J, Braus G, & Buckner D. 2017. Native Vegetation Performance under a Solar PV Array at the National Wind Technology Center (No. NREL/TP- 1900-66218). National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO, USA.

Bloem J & Korthals G. In voorbereiding. Soil Health Index – Biologische Indicatoren voor de Nederlandse toepassing. Concept rapport Wageningen Environmental Research, september 2018.

BirdLife Europe. 2011. Meeting Europe's renewable energy targets in harmony with nature. http://www.energiewende-naturvertraeglich.de/index.php%3Fid=1091&L=1&tx_fedownloads_pi2[download]=3851 (17-08-2018).

Bos JFFP, Sierdsma H, Schekkerman H, & Scharenburg CV. 2010. Een veldleeuwerik zingt niet voor niets!: schatting van kosten van maatregelen voor akkervogels in de context van een veranderend gemeenschappelijk landbouwbeleid (No. 107). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.

BRE. 2014. Biodiversity guidance for solar developments. https://www.bre.co.uk/filelibrary/pdf/Brochures/NSC-Biodiversity-Guidance.pdf%0A (08-08-2018).

BügelHajema. 2018. Vogelvriendelijke inrichting Zonnepark Van Boekerenweg Stadskanaal.

CMS. 2014. Renewable energy technologies and migratory species - guidelines for sustainable deployment. https://www.cms.int/sites/default/files/document/Doc_10_2_2_Guidelines_Renewable_Energy_E.pdf (28-08-2018).

DeVault TL, Seamans TW, Schmidt JA, Belant JL, Blackwell BF, Mooers N, Tyson LA, & Van Pelt L. 2014. Bird use of solar photovoltaic installations at US airports: implications for aviation safety. Landscape and Urban Planning 122:122–128.

Dupraz C, Marrou H, Talbot G, Dufour L, Nogier A, & Ferard Y. 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. Renewable energy 36(10):2725−2732.

Eelerwoude. 2018. Landschappelijke inpassing Zonnepark Midden Groningen. https://chintsolar.nl/wp-content/uploads/2018/05/180227.Inrichting_beheer_Landsch_inpassing_SP_MG.pdf (22-08-2018).

Engels BWR & Kleyheeg-Hartman JC. 2016. Natuurtoets zonnepark Haringvliet. Bureau Waardenburg. https://www.commissiemer.nl/projectdocumenten/00001056.pdf?documenttitle=Bijlage 4C Natuurtoets zonnepark Haringvliet.pdf (22-08-2018).

Feltwell J. 2013. Are photovoltaic solar arrays an influencing factor in avian mortality? Newsletter of the Kent Field Club 77:18-25.

Fischer J, Brosi B, Daily GC, Ehrlich PR, Goldman R, Goldstein J, ... & Ranganathan J. 2008. Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? Frontiers in Ecology and the Environment 6(7):380−385.

Fthenakis V, Blunden J, Green T, Krueger L, & Turney D. 2011. Large photovoltaic power plants: wildlife impacts and benefits. 2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference.

Frambach M, Liu Y, Mazolla L, Schurer B, Tasiopoulos L, & Villar Alegria E. 2018. Combining solar panels and agriculture. Analysing the impact on soil biodiversity. Studentenrapport Wageningen Universiteit.

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. 2017. Harvesting the Sun for Power and Produce – Agrophotovoltaics Increases the Land Use Efficiency by over 60 Percent.

GNMF. 2018. Handreiking: beleid en criteria voor zonnevelden. https://www.gnmf.nl/wp-content/uploads/2018/04/20180424-GNMF-handreiking-zonnevelden.pdf (29-08-2018).

Griffiths BS, Faber J, & Bloem J. 2018. Applying soil health indicators to encourage sustainable soil use: The transition from scientific study to practical application. Sustainability (Switzerland) 10(9):3021.

Guerin T. 2017. A case study identifying and mitigating the environmental and community impacts from construction of a utility-scale solar photovoltaic power plant in eastern Australia. Solar Energy 146:94–104.

Guiller C, Affre L, Deschamps-Cottin M, Geslin B, Kaldonski N, & Tatoni T. 2017. Impacts of solar energy on butterfly communities in mediterranean agro-ecosystems. Environmental Progress and Sustainable Energy 36:1817–1823.

Harrison C, Lloyd H, & Field C. 2017. Evidence review of the impact of solar farms on birds, bats and general ecology. Natural England. http://publications.naturalengland.org.uk/file/6000213410447360 (09-08-2018).

Heindl M. 2014. Mounting structure of a solar module as nesting site for a Red-backed Shrike *Lanius collurio*. Ornithologischer Rundbrief Mecklenburg-Vorpommern 48:87–89.

Heindl M. 2016. Development of the breeding populations of Whinchat and Corn Bunting in an open-area photovoltaic plant near Demmin. Ornithologischer Rundbrief Mecklenburg-Vorpommern 48:303–307. https://www.umweltplan.de/media/download/veroeffentlichungen/Martin_Heindl_Braunkehlchen_Grauammer_Photovoltaik_Anlage.pdf (02-11-2018).

Herden C, Rassmus J, & Gharadjedaghi B. 2009. Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. BfN-Skripten 247.

Horváth G, Blahó M, Egri Á, Kriska G, Seres I, & Robertson B. 2010. Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. Conservation Biology 24:1644–1653.

Horváth G, Kriska G, Malik P, Robertson B. 2009. Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. Frontiers in Ecology and the Environment 7:317–325.

Jeal C. 2015. The impact of a “trough” Concetrated Solar Power facility on birds and other animals in the Northern Cape, South Africa. University of Cape Town. https://open.uct.ac.za/bitstream/handle/11427/25010/thesis_sci_2017_jeal_corey.pdf?sequence=1 (17-08-2018).

Jenkins AR, Ralston-Paton S, & Smit-Robinson HA. 2017. Best practice guidelines: birds & solar energy. BirdLife South Africa. https://www.birdlife.org.za/documents/renewable-energy/solar-energy/988-blsa-birds-solar-energy-2017 (23-08-2018).

Kagan RA, Viner TC, Trail PW, & Espinoza EO. 2014. Avian mortality at solar energy facilities in southern California: a preliminary analysis. National Fish and Wildlife Fornesics Laboratory. https://alternativeenergy.procon.org/sourcefiles/avian-mortality-solar-energy-ivanpah-apr-2014.PDF (09-08-2018).

Kok L, van Eekeren N, van der Putten WH, van den Born GJ, Schouten T, & Rutgers M. 2017. Zonneparken en bodemafdekking. Bodem 4:18−21.

Lambers IHR. 2016. Effecten van zonne park Hijken op beschermde soorten en gebieden. Bureau Waardenburg. https://www.middendrenthe.nl/website/document/docnr/2828442,,3768338,/Ecologisch onderzoek .pdf (22-08-2018).

Lamont LA & El Chaar L. 2011. Enhancement of a stand-alone photovoltaic system’s performance: reduction of soft and hard shading. Renewable Energy 36:1306–1310.

Lieder K & Lumpe J. 2012. Vögel im Solarpark - eine Chance für den Artenschutz? http://archiv.windenergietage.de/20F3261415.pdf (09-08-2018).

Majumdar D & Pasqualetti MJ. 2018. Dual use of agricultural land: Introducing ‘agrivoltaics’ in Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well- being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC, USA.

McCrary MD, McKernan RL, Schreiber RW, Wagner WD, & Sciarrotta TC. 1986. Avian mortality at a solar energy power plant. Journal of Field Ornithology 57:135–141.

Montag H, Parker G, & Clarkson T. 2016. The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study. Clarkson & Woods and Wychwood Biodiversity. http://www.solar-trade.org.uk/wp-content/uploads/2016/04/The-effects-of-solar-farms-on-local-biodiversity-study.pdf (08-08-2018).

NABU. 2010. Kriterien für naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen. https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/solarenergie/170629-nabu-kriterien-solarparks.pdf (13-08-2018).

Peschel T. 2010. Solar parks - opportunities for biodiversity. Renews Special 45.

Phalan B, Onial M, Balmford A, & Green RE. 2011. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. Science 333(6047):1289−1291.

Provincie Fryslân. 2017. Sinnefjilden yn it lânskip. https://www.fryslan.frl/document.php?m=7&fileid=27316&f=74bff86465c36f6d482a3dfa7ac672f2&attachment=1 (29-08-2018).

Provincie Groningen. 2018. Handreiking: locatiekeuze en ontwerp zonneparken. https://www.provinciegroningen.nl/fileadmin/user_upload/Documenten_2017/Downloads/Handreiking_locatiekeuze_en_ontwerp_zonneparken_feb_2018.pdf (30-08-2018).

Provincie Noord-Holland. 2016. Nota Perspectief voor Zon in Noord-Holland. https://www.noord-holland.nl/dsresource?objectid=18561959-22e8-4604-8019-d2d829e8053f&type=PDF (29-08-2018).

Provincie Overijssel. 2017. Handreiking kwaliteitsimpuls zonnevelden. https://www.overijssel.nl/publish/pages/166063/handreiking_kwaliteitsimpuls_zonnevelden_def.pdf (30-08-2018).

Raab B. 2015. Erneuerbare Energien und Naturschutz – Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. ANLiegen Natur 37:67–76.

RSPB. 2014. Solar energy - RSPB policy briefing, December 2014. http://ww2.rspb.org.uk/Images/Solar_power_briefing_tcm9-273329.pdf (09-08-2018).

Semchenko M, Lepik M, Götzenberger L, & Zobel K. 2012. Positive effect of shade on plant growth: amelioration of stress or active regulation of growth rate? Journal of Ecology 100:459–466

Sinha P, Hoffman B, Saker J, & Althouse L. 2018. Best practices in responsible land use for improving biodiversity at a utility-scale solar facility. Case Studies in the Evironment.

Smit HA. 2011. Guidelines to minimise the impact on birds of solar facilities and associated Infrastructure in South Africa. http://www.the-eis.com/data/literature/Solar guidelines_version2.pdf (09-08-2018).

Száz D, Mihályi D, Farkas A, Egri Á, Barta A, Kriska G, Robertson B, & Horváth G. 2016. Polarized light pollution of matte solar panels: anti-reflective photovoltaics reduce polarized light pollution but benefit only some aquatic insects. Journal of Insect Conservation 20:663–675.

Taylor R. 2014. Potential ecological impacts of ground-mounted photovoltaic solar panels in the UK: an introduction and literature review. BSG Ecology. http://www.bsg-ecology.com/wp-content/uploads/2015/01/Solar-panels-and-wildlife-review_RT_FINAL_140109.pdf (30-08-2018).

Tröltzsch P & Neuling E. 2013. Die Brutvögel großflächiger Photovoltaikanlagen in Brandenburg. Vogelwelt 134:155–179.

Valle B, Simonneau T, Sourd F, Pechier P, Hamard P, Frisson T, ... & Christophe A. 2017. Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied Energy 206*:1495−1507.

Visser E. 2016. The impact of South Africa's largest photovoltaic energy facilty on birds in the Northern Cape, South Africa. University of Cape Town. https://open.uct.ac.za/bitstream/handle/11427/20843/thesis_sci_2016_visser_elke.pdf?sequence=1 (30-08-2018).

Walston LJ, Rollins KE, LaGory KE, Smith KP, & Meyers SA. 2016. A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States. Renewable Energy 92:405–414.

WWF. 2013. Solar PV atlas: solar power in harmony with nature. http://awsassets.panda.org/downloads/solar_pv_atlas_final_screen_version_feb_2013.pdf (29-08-2018).